

7. Висновки

Розроблена математична модель дозволяє врахувати усі фактори, що впливають на пристрій при роботі. При експлуатації пристрою практичне значення має рух лінії різку полірувального круга залежно від змінних величин: сил, що виникають при поліруванні, кутовій швидкості робочого органу, а також розмірних

характеристик круга і шпинделя. Для встановлення характеру цього руху було розглянуто робочий орган, як жорстке тверде тіло, навантажене силами різання, що має можливість, за наявності однієї опори, змінювати своє положення в просторі. З урахуванням прийнятих систем координат положення робочого органу однозначно визначається кутами α , β , γ ; вони відображають рух допоміжної системи $Ox_2y_2z_2$.

Література

1. Бауман Н.Я. Технология производства паровых и газовых турбин. [Текст] / Бауман Н.Я., Яковлев М.И., Свечков И.Н. М.: Машиностроение, 1973, 464с.
2. Березкин В.В. Технология турбостроения. [Текст] / Березкин В.В. и др. Л.: Машиностроение, 1980, 720с.
3. Шубенко-Шубин Л. А. Прочность паровых турбин. [Текст] / Шубенко-Шубин Л. А. и др. М.: Машиностроение, 1973, 449с.

Аналізуються лінійно-пружні коливання поверхні оболонкової частини внутрішньої рамки триступеневого астатичного гіроскопа в акустичних полях високого рівня – вище 150 дБ. Вирішується двовимірною задачею переходу поверхні підвісу із стану абсолютно твердої в імпедансну

Ключові слова: форми коливань, оболонка, хвиля тиску, площина шпангоута

Анализируются линейно-упругие колебания поверхности оболочечной части внутренней рамки трехступенного астатического гироскопа в акустических полях высокого уровня – выше 150 дБ. Решается двумерная задача перехода поверхности подвеса из состояния абсолютно твердой в импедансную

Ключевые слова: формы колебаний, оболочка, волна давления, плоскость шпангоута

Linearly-elastic fluctuations of a surface envelope parts of an internal framework of a three-sedate astatic gyroscope in acoustic fields of high level - above 150 dB are analyzed. The two-dimensional problem of transition from a state of the surface of the suspension is absolutely solid in impedance is solved

Keywords: forms of fluctuations, shell, pressure wave, frame plane

УДК 629.7.054

ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В КОЖУХЕ ТРЕХСТУПЕННОГО АСТАТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

В. В. Карачун

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой*

В. Н. Мельник

Доктор технических наук, профессор*

*Кафедра биотехники и инженерии

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

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

Контактный тел.: (044) 454-94-51

E-mail: karachun 1@gala.net

1. Введение

Исследования относятся к области прикладной механики и посвящены изучению упругого взаимодействия механических систем подвеса гироскопа с проникающим акустическим излучением. Такой режим имеет место, например, при старте ракет носителей с поверхности Земли, из шахт, с платформ мобильного базирования.

Генерируемые в поверхности подвеса колебания и волны в своей совокупности могут привести к девиации

оси фигуры в пространстве и послужить источником дополнительной погрешности курсоуказания.

2. Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследований

Для измерения угла рыскания различного класса летательных аппаратов нашли широкое применение гироскопы направления на базе трехступенного сво-

бодного гироскопа в кардановом подвесе [1]. Автономность инерциального указателя направления служит его главным достоинством, особенно ярко проявляющимся на высокоманевренных ЛА [2]. Вместе с тем, как оказалось, трехстепенному свободному гироскопу присущи погрешности измерений, обусловленные влиянием как внутренних, так и внешних причин [3]. Исследования ученых и специалистов ракетно-космической отрасли раскрыли механизм этого влияния и сформулировали конструкторско-технологические, а также автокомпенсационные методы уменьшения погрешностей измерений угла рыскания с помощью трехстепенного астатического гироскопа [4].

Создание современных мощных ракет-носителей послужило причиной появления еще одного негативного фактора влияющего на гироскоп – проникающего под Головной Аэродинамический Обтекатель (ГАО) акустического излучения [5]. Генерируемая в элементах подвеса вибрация стала причиной не только девиации, но и систематического дрейфа оси фигуры [6, 7, 8, 9].

Анализ упругого-напряженного состояния поверхности внутренней рамки, установление его структуры и особенностей составляют цель проведенных авторами исследований и служат фундаментом для дальнейшего выбора путей борьбы с этим явлением.

3. Двумерная задача упруго-податливой поверхности кожуха

Принимая во внимание тот факт, что жесткость внутренней рамки по ее протяженности значительно превышает жесткость по двум другим направлениям, ограничимся изучением тангенциальных и радиальных упругих перемещений под действием проникающей плоской волны

С учетом сказанного, можно представить тангенциальные $V(t)$ и радиальные $W(t)$ составляющие перемещений элементов поверхности цилиндрической части кожуха при воздействии на нее плоской монохроматической волны давления в виде:

$$V(z, \beta, t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[-im \frac{F_{mn}}{\Delta_{mn}} \exp(im\beta) \sin\left(\frac{n\pi z}{L}\right) \right];$$

$$W(z, \beta, t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \left[\omega^2 \rho - m^2 - \frac{1-\sigma}{2} \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 \right] \cdot \left[\frac{F_{mn}}{\Delta_{mn}} \exp(im\beta) \sin\left(\frac{n\pi z}{L}\right) \right] \right\}. \quad (1)$$

Установленные соотношения позволяют провести качественную и количественную оценки возникающих в кожухе подвеса волновых процессов. Так, очевидно, что при некоторых условиях одновременно будут исчезать и тангенциальная, и радиальная составляющие перемещений. Этими условиями можно считать соотношения $-\frac{n\pi z}{L} = v\pi$, $v = 0, 1, 2, \dots$,

что соответствует присутствию форм $n = v \frac{L}{z}$.

Другими словами:

$$v = 0; n = 0; v = 1; n = \frac{L}{z}; v = 2; n = \frac{2L}{z};$$

$$v = 3; n = \frac{3L}{z}; v = 4; n = \frac{4L}{z};$$

Интересное явление наблюдается при выполнении условия

$$\omega^2 \rho - m^2 - \frac{1-\sigma}{2} \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 = 0. \quad (2)$$

В этом случае отсутствуют только радиальные составляющие перемещения поверхности $W(t)$, в то время как тангенциальные $V(t)$ могут быть реализованы.

Соотношение (2) убедительно подчеркивает возможность обоюдного влияния продольных (n-форм) и поперечных (m-форм) колебаний, приводящее к взаимному их подавлению.

Преобразовав это соотношение к виду

$$(\omega\sqrt{\rho} - m)(\omega\sqrt{\rho} + m) = \frac{1-\sigma}{2} \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2,$$

логично сделать вывод о том, что в данном эффекте не принимают участия поперечные колебания с номерами форм

$$m = \omega\sqrt{\rho}. \quad (3)$$

Особое внимание следует уделить анализу условий возникновения особенностей, резонансных проявлений, когда величины перемещений могут неограниченно возрастать. Очевидно, что такие возможности оболочкой могут быть реализованы при условии:

$$\left[\omega^2 \rho - m^2 - \frac{1-\sigma}{2} \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 \right] \left\{ (\omega^2 \rho + 1) + c^2 \left[\left(\frac{m}{R}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 \right]^2 \right\} = -m^2, \quad (4)$$

когда имеют место резонансные частоты

$$\omega^p = (2\rho)^{\frac{1}{2}} \left\{ \left[-\frac{h^2}{12R^2} \left[\left(\frac{m}{R}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 \right]^2 + \frac{1-\sigma}{2} \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 + m^2 - 1 \pm \right. \right. \\ \left. \left. \pm \left[\frac{h^2}{12R^2} \left[\left(\frac{m}{R}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 \right]^2 + \frac{1-\sigma}{2} \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 \right]^2 \left[\frac{h^2}{12R^2} \left[\left(\frac{m}{R}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 \right]^2 + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \frac{1-\sigma}{2} \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 + m^4 + 3 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \right\}. \quad (5)$$

Полученное соотношение дает основание для утверждения, что низшие формы продольных коле-

баний практически не оказывают влияния на значения резонансных частот ω^p , в то время как поперечные (m -формы), начиная с четвертой, все в большей степени осуществляют это влияние. Исключением является случай $m=0$, который, по сути дела, тривиальный.

Очевидно, что тангенциальная составляющая перемещений поверхности поплавок не будет содержать формы, где $m=0$. Другими словами, будут отсутствовать перемещения $V_{01}, V_{03}, V_{05}, V_{07}, \dots$

Проведем численный анализ с целью установления степени влияния акустического излучения, например, при уровне давления P_0 равном 140 децибелам на состояние цилиндрической части поверхности кожуха подвеса гироскопа. Пусть $\sigma = 0,32$; $L = 0,06\text{м}$; $\rho = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{Нс}^2 \text{м}^{-4}$; $h = 1 \cdot 10^{-3} \text{м}$; $c_2 = \frac{h^2}{12R^2} = 2 \cdot 10^{-4}$; $k_0 = \frac{\omega}{c_0}$; $c_0 = 330 < \text{с}^{-1}$; ω – частота падающей волны.

Вначале проанализируем отдельные, нижние формы, а затем оценим величину полных перемещений $-\sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} W_{mn}$ и $\sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} V_{mn}$ элементов цилиндрической поверхности кожуха.

Максимальные значения радиальные перемещения W_{mn} достигают в среднем шпангоуте $\left(z = \frac{L}{2}\right)$ и составляют около $4,471 \mu\text{км}$ при частоте падающей волны $\omega = 1 \cdot 10^3 \text{с}^{-1}$ и приблизительно $4,590 \mu\text{км}$ при частоте $\omega = 3 \cdot 10^3 \text{с}^{-1}$. Здесь $L = 0,06\text{м}$, $m = 0$, $n = 1$. Все остальные формы имеют существенно меньшие максимальные значения прогибов:

$m = 1,$ $n = 1 - W_{\max} = 0,426 \mu\text{км}$	$m = 6,$ $n = 1 - W_{\max} = 0,063 \mu\text{км}$
$m = 2,$ $n = 1 - W_{\max} = 0,203 \mu\text{км}$	$m = 7,$ $n = 1 - W_{\max} = 0,054 \mu\text{км}$
$m = 3,$ $n = 1 - W_{\max} = 0,133 \mu\text{км}$	$m = 8,$ $n = 1 - W_{\max} = 0,047 \mu\text{км}$
$m = 4,$ $n = 1 - W_{\max} = 0,095 \mu\text{км}$	$m = 9,$ $n = 1 - W_{\max} = 0,041 \mu\text{км}$
$m = 5,$ $n = 1 - W_{\max} = 0,076 \mu\text{км}$	$m = 10,$ $n = 1 - W_{\max} = 0,036 \mu\text{км}$

Для более высоких номеров n значения величин W_{\max} еще меньше. Знак у параметра m не влияет на форму колебаний. Если зафиксировать значение параметра n (например, $n = 1$), то можно определить m -формы радиальных колебаний цилиндрической поверхности кожуха для значений m , изменяющихся от 9 до нуля. При этом, увеличение номера n приводит к уменьшению радиальных перемещений W_{mn} .

4. Выводы

Полученные результаты позволяют не только оценить структуру генерируемых колебаний поверхности, но и проанализировать в дальнейшем их интегральное влияние на носитель кинетического момента в той части, где речь идет не только о девиации оси гироскопа, но и возможном дрейфе оси относительно исходного положения.

Наличие последнего факта может привести к потере устойчивости и выходе прибора из строя.

Литература

- Ишлинский, А.Ю. Механика гироскопических систем [Текст]/ А.Ю. Ишлинский. – М.: Нац. акад. наук РФ, 1963. – 258с.
- Каргу, Л.И. О движении свободного гироскопа с учетом внутреннего трения в упругих элементах его конструкции [Текст] / Л.И.Каргу, И.М.Окон, Л.И. Роберман //Изв. АН СССР. Механика и машиностр. –1964. - № 3.–С. 11-16.
- Лестев, А.М. О движении статически сбалансированного гироскопа в кардановом подвесе, установленного на вибрирующем основании [Текст]/ А.М. Лестев // Изв. ВУЗов СССР, Приборостроение. – 1962. – Т.6, № 1. – С. 29-31.
- Автокомпенсация инструментальных погрешностей гиросистем [Текст]: моногр. / С.М. Зельдович, М.И. Малтинский, И.М. Окон, Я.Г. Остромухов. – Л.: Судостроение, 1976. – 255с.
- Карачун, В. В. О колебаниях пластин при акустическом нагружении [Текст]/ В. В. Карачун // Прикл. механика - 1988. – Т.24, № 11. – С. 84-91.
- Карачун, В. В. Об одномерных изгибных колебаниях двухслойной пластины в поле избыточного давления [Текст] / В. В. Карачун // - Вестн. Киев, политехн. ин-та, Приборостр. - 1986. – Вып. 16. – С. 8-9.
- Мельник, В. Н. Дифракция звука на упругой цилиндрической оболочке [Текст] / В.Н. Мельник // Автоматизация виробничих процесів. -2000. -№1(10). –С.106-109.
- Карачун, В.В., Мельник В.М. Аеродинамічний шум та його вплив на девіацію гіроскопа [Текст] / В.В. Карачун, В.М. Мельник // Вісник ЖІТІ. – 2001. -№16/ Технічні науки. – С. 86-90.
- Мельник, В.Н., Карачун В.В. Определение погрешностей гироскопического интегратора, обусловленных дифракцией звуковых волн [Текст] / В.Н. Мельник, В.В. Карачун // Прикл. механика – 2004. - Т.40, №3. –С.109-120.