11. Brenner, S. S. Growth and Perfection of Crystals [Text] / S. S. Brenner. — N. Y.: John Willey, 1959. — № 12. — P. 157.
12. Eisner, R. L. Growth and Perfection of Crystals [Text] / R. L. Eisner. — N. Y.: John Willey, 1959. — № 21. — P. 191.
13. Серебряков, А. В. Физика твердого тела [Текст] / А. В. Серебряков, В. Г. Костюк, К. К. Зилинг // ФТТ. — 1965. — Т. 7. — С. 858.
14. Brenner, S. S. J. Appl. Phys. [Text] / S. S. Brenner. — 1956. — № 27. — P. 1484.
15. Эйвнер, Р. Л. Кремний [Текст] / Р. Л. Эйвнер. — 1960. — Т. 2. — С. 245.
16. Marsch, D. M. J. Scient. Instrum. [Text] / D. M. Marsch. — 1959. — № 36. — P. 165.
17. Marsch, D. M. J. Scient. Instrum. [Text] / D. M. Marsch. — 1961. — № 38. — P. 229.
18. Надгорный, Э. М. Физика твердого тела [Текст] / Э. М. Надгорный, А. В. Степанов // ФТТ. — 1961. — Т. 3. — С. 1068.
19. Лемке, Ф. Приборы для научных исследований [Текст] / Ф. Лемке, Р. Крафт. — 1962. — Т. 2. — С. 46.
20. Wollers, H. J. Scient. Instrum. [Text] / H. Wollers, W. Schapink. — 1961. — № 38. — P. 250.
21. Cabrera, N. Growth and Perfection of Crystals [Text] / N. Cabrera, P. B. Price. — N. Y.: John Willey, 1959. — № 3. — P. 204.
22. Brenner, S. S. Rev. Scient. Instrum. [Text] / S. S. Brenner, C. R. Morelok. — 1957. — № 28. — P. 652.
23. Фридман, В. Я. Физика твердого тела [Текст] / В. Я. Фридман. — 1966. — Т. 8. — С. 1079.
24. Price, P. B. Acta metallurgica [Текст] / P. B. Price, D. A. Vermilyea, W. W. Webb. — 1958. — № 6. — P. 524.
25. Levell, A. P. Mater. Res. and Standarts [Текст] / A. P. Levell. — 1966. — № 6. — P. 64.
26. Бокштейн, С. З. Физика твердого тела [Текст] / С. З. Бокштейн, С. Т. Кишкин, М. П. Назарова, И. Л. Светлов // ФТТ. — 1967. — Т. 9. — С. 1887.
27. Бокштейн, С. З. Физика твердого тела [Текст] / С. З. Бокштейн, Г. Н. Зайцев, М. Й. Назарова, И. Л. Светлов // ФТТ. — 1968. — Т. 10, № 2. — С. 564.
28. Gyulai, Z. Z. Phys. [Text] / Z. Gyulai. — 1954. — № 138. — P. 317.
29. Venables, J. D. Appl. Phys. [Text] / J. D. Venables. — 1963. — № 34. — P. 293.
30. Hulse, O. J. Amer. Ceram. Soc. [Text] / O. Hulse. — 1961. — № 44. — P. 572.
31. Дикина, Л. С. Физика твердого тела [Текст] / Л. С. Дикина, А. А. Шпунт // ФТТ. — 1962. — Т. 4. — С. 556.
32. Стрелков, П. Г. Физика твердого тела [Текст] / П. Г. Стрелков, А. А. Шпунт // ФТТ. — 1962. — Т. 4. — С. 2258.
33. Фридман, В. Я. Физика твердого тела [Текст] / В. Я. Фридман, А. А. Шпунт // ФТТ. — 1963. — Т. 5. — С. 790.
34. Фридман, В. Я. Физика твердого тела [Текст] / В. Я. Фридман, А. А. Шпунт // ФТТ. — 1964. — Т. 6. — С. 489.
35. Александров, А. П. Явление хрупкого разрыва [Текст] / А. П. Александров, С. Н. Журков. — М.: Изд. ГТТИ, 1933. — 215 с.
36. Буров, К. А. Научный журнал ЖТФ [Текст] / К. А. Буров, М. В. Классен-Неклюдова, Г. А. Андриевская, Г. Д. Тенсон, Ю. Е. Томиловский, М. А. Чернышова // ЖТФ. — 1945. — Т. 15. — С. 407.
37. Ollo, W. J. Amer. Ceram. Soc. [Text] / W. Ollo. — 1955. — № 38. — P. 122.
38. Thomas, W. Nature [Text] / W. Thomas. — 1958. — № 181. — P. 1006.
39. Taylor, G. F. Phys. Rev. [Text] / G. F. Taylor. — 1924. — № 23. — P. 655.
40. Pearson, G. L. Acta metallurgica [Text] / G. L. Pearson, W. T. Read, W. L. Feldman. — 1957. — № 5. — P. 181.
41. Read, W. T. Dislocations and Mechanical Properties of Crystals [Text] / W. T. Read, G. L. Pearson. — N. Y. — London: John Willey, 1957. — P. 537.
42. Parker, R. L. J. Chem. Phys. [Text] / R. L. Parker, S. C. Hardy. — 1962. — № 37. — P. 1606.
43. Гольденберг, С. У. Физика твердого тела [Текст] / С. У. Гольденберг, А. И. Бычкова // ФТТ. — 1967. — Т. 9. — С. 674.

ВЛАСТИВОСТІ НИТКОПОДІБНИХ КРИСТАЛІВ. МЕХАНІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ НА МІЦНІСТЬ

Розглянуто результати раніше проведених досліджень міцністних характеристик різних груп ниткоподібних кристалів, проаналізовано результати досліджень з точки зору практичного використання ниткоподібних кристалів, розглянуто фактори впливу механічних випробувань на структуру кристалічної решітки кристалів та його властивості.

Ключові слова: міцністні характеристики, ниткоподібні кристали, механічні випробування.

Артемьев Сергей Робленович, *кандидат технических наук, доцент, кафедра охраны труда и техногенно-экологической безопасности, Национальный университет гражданской защиты Украины, Украина,* ***e-mail: sergey.artemev.1967@mail.ru***.

Артем'єв Сергій Робленович, *кандидат технічних наук, доцент, кафедра охорони праці та техногенно-екологічної безпеки, Національний університет цивільного захисту України, Україна.*

Artemev Sergey, *National University of Civil Protection of Ukraine, Ukraine,* ***e-mail: sergey.artemev.1967@mail.ru***

УДК 629.7.054

Бойко Г. В.

ЛИНЕЙНО УПРУГИЙ ПОДВЕС ПОПЛАВКОВОГО ГИРОСКОПА В АКУСТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Строится система дифференциальных уравнений поплавкового подвеса гироскопа в перемещениях при отсутствии трансляции энергии изгибного движения оболочечной части на торцы. Изучается трехмерная задача. С целью установления оптимальной геометрии оболочечной части и решения задач оптимизации предполагается произвольное очертание линии меридиана. Как частный случай, вытекают уравнения упругого состояния кругового цилиндра.

Ключевые слова: *поплавковый подвес гироскопа, координатные функции, упругое состояние, линия меридиана.*

1. Введение

Исследования относятся к области прикладной механики и посвящены изучению возмущенного состояния поверхности поплавкового подвеса гироскопа в акустической среде. Построенная математическая модель подвижной части подвеса создает возможности для глубокого изучения свойств прибора в натурных условиях.

2. Литературный обзор

Двухстепенные поплавковые гироскопы нашли широкое применение в ракетно-космической и авиационной индустрии как надежные приборы пилотажно-навигационного использования [1—4]. Жидкостатический подвес позволил значительно повысить точность измерений и улучшить динамические характеристики [5, 6].

Однако, как оказалось, в эксплуатационных условиях проникающее акустическое излучение и *N*-волна нашли в нем прекрасный ретранслятор внешних возмущений [7, 8]. Кроме того, высокая температура на скоростных летательных аппаратах также способствует прохождению внутрь прибора звуковых волн [9—12].

Полиагрегатная структура подвеса гироскопа, как видно, требует глубокого изучения свойств составляющих элементной базы и выбора путей уменьшения погрешностей прибора при летной эксплуатации.

3. Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследований

Гироагрегат стабилизирует положение поплавкового подвеса. Вместе с тем, упругие колебания поверхности под действием звуковых волн в своей совокупности приведут к упруго напряженному состоянию, которое будет восприниматься прибором как входная величина. Это приведет к неизбежной девиации оси фигуры (или же к ее дрейфу).

Таким образом, следует разносторонне проанализировать упругие перемещения подвеса по всем направлениям — вдоль протяженности, вдоль линии меридиана и в плоскости шпангоута. Это послужит фундаментом для принятия решений по технической реализации мероприятий с целью уменьшения акустической погрешности гироскопов.

4. Построение математической модели линейно упругого подвеса гироскопа

В безразмерной форме дифференциальные уравнения оболочки с произвольным очертанием линии меридиана сводятся к виду:

$$\frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2}-(1+2\nu)\xi'(z)\frac{\partial U_z}{\partial z}+\left[(1+\nu\mu)\xi'^2(z)-\nu\xi''(z)\right]U_z+$$
$$+\frac{1}{R(1+\zeta)}\left[\frac{1+\nu}{2}+\nu(1+\mu)\xi(z)\right]\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial z\partial\varphi}-\frac{1}{R(1+\zeta)}\times$$
$$\times\left\{-\left[(1+\nu)\mu+3\mu^2\right]\xi'(z)W+(\mu+\nu)\frac{\partial W}{\partial z}\right\}=$$
$$=\frac{1-\nu^2}{Eh}\left[1+2\mu\xi(z)\right]\left(-q_1+\rho h\frac{\partial^2 U_z}{\partial t^2}\right); \qquad (1)$$

$$\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial s^2}+\frac{1}{2}(1+\nu)\left[1-(1+\mu)\xi(z)\right]\frac{\partial^2 U_z}{\partial z\partial s}-\frac{1}{2}(1-\nu)\times$$
$$\times\left[1-2(1+\mu)\xi(z)\right]\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial z^2}-\frac{1}{2}(1-\nu)(1+\mu)\xi'(z)\frac{\partial U_\varphi}{\partial z}-$$
$$-\frac{1}{2}(3-\nu)\xi'(z)\frac{\partial U_z}{\partial s}+\frac{1}{2}(1-\nu)\xi''(z)U_\varphi-$$
$$-\frac{1}{R(1+\zeta)}\left\{1+\nu\mu-\left[(1+\nu)\mu+3\nu\mu^2\right]\xi(z)+\right.$$
$$\left.+\left[(1+3\nu)\mu^2+\frac{15}{2}\nu\mu^3\right]\xi^2(z)\right\}\frac{\partial W}{\partial s}=$$
$$=\left[1-\xi(z)\right]^2\left(-q_2+\rho h\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial t^2}\right)\frac{1-\nu^2}{Eh}; \qquad (2)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left\{-\left[1-(1+2\mu)\xi(z)\right]\frac{\partial^2 W}{\partial z^2}+(\nu+\mu)\xi'(z)\frac{\partial W}{\partial z}-\nu\frac{\partial^2 W}{\partial s^2}\right\}-$$
$$-\frac{\partial}{\partial z}\left\{(1-\nu)\left[2+\xi(z)\right]\frac{\partial^3 W}{\partial z\partial s^2}+\left[1+2(1-\nu)\xi'(z)\right]\frac{\partial^2 W}{\partial s^2}+\right.$$
$$\left.+\nu\xi'(z)\frac{\partial^2 W}{\partial z^2}+\frac{1-\nu}{R(1+\zeta)}\left[1+\mu(\mu-2)\xi(z)\right]\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial z\partial s}\right\}-\frac{\partial^4 W}{\partial s^4}-$$
$$-\nu\frac{\partial^4 W}{\partial z^2\partial s^2}+\mu\xi'(z)\frac{\partial^3 W}{\partial z^3}+\left[1+\mu(1-\nu)\right]\xi'(z)\frac{\partial^3 W}{\partial z\partial s^2}-$$
$$-\mu(\nu+\mu)\xi'^2(z)\frac{\partial^2 W}{\partial z^2}-(\nu+\mu)\mu\xi'(z)\xi''(z)\frac{\partial W}{\partial z}-\frac{1}{R(1+\zeta)}\times$$
$$\times\left[1+\left(2+\mu^2\right)\xi(z)\right]\frac{\partial^3 U_\varphi}{\partial s^3}-\frac{\nu\mu}{R(1+\zeta)}\frac{\partial^3 U_z}{\partial z\partial s^2}+\frac{\mu^2\xi'(z)}{R(1+\zeta)}\frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2}+$$
$$+\frac{\mu(1-\nu)}{R(1+\zeta)}\xi'(z)\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial z\partial s}+\frac{12}{h^2}\left[\frac{\mu+\nu}{R(1+\zeta)}\frac{\partial U_z}{\partial z}+\frac{1+\mu\nu}{R(1+\zeta)}\frac{\partial U_\varphi}{\partial s}-\right.$$
$$\left.-\frac{1+\mu\nu}{R(1+\zeta)}\xi'(z)U_z\right]=-\frac{1}{D}\left[1-(1-\mu)\xi(z)\right]\left(q_3+\rho h\frac{\partial^2 W}{\partial t^2}\right), \qquad (3)$$

где $U_z=U_z(t,z,\varphi)$, $U_\varphi=U_\varphi(t,z,\varphi)$, $W=W(t,z,\varphi)$ — упругие перемещения поверхности оболочки вдоль образующей, вдоль параллели, в плоскости шпангоута соответственно; h — толщина оболочки; ρ — плотность материала; E — модуль Юнга (Young); ν — коэффициент Пуассона (Poisson); $R=f(0)=f(\ell)=\text{const}$ — радиус по краям; ℓ — длина оболочки; $r=f(z)$ — расстояние от оси вращения до точки поверхности оболочки; $f(z)$ — кривая вращения (линия меридиана); $\frac{\partial}{\partial S}=\frac{1}{R(1+\zeta)}\frac{\partial}{\partial\varphi}$; $\eta=\frac{R}{\ell}$; $\zeta=\frac{\delta}{R}<1$; $\xi=\frac{\delta}{\ell}<1$; $\mu=8\zeta(1+\zeta)\eta^2$; $2\mu<<1$; δ — подъем линии меридиана; при условии, что $\delta\to 0$, естественно, что $\xi\to 0$ и $\mu\to 0$; ω_0 — собственная частота.

Установим класс кривых $f_1(z_1)$, для реализации оболочки. Должны обязательно выполняться условия —

$$f_1(-z_1)=f_1(z_1); \quad f_1\left(\pm\frac{1}{2}\ell\right)=0.$$

При этом функция $\left[+f_1(z_1)\right]$ считается строго выпуклой, а функция $\left[-f_1(z_1)\right]$ — строго вогнутой. Функция $f_1(z_1)$ является убывающей при $z_1\in\left(0;\frac{\ell}{2}\right)$ и возрастающей, если $z_1\in\left(0;\frac{\ell}{2}\right)$. Очевидно, что

$$f_1(-z_1)=f_1(z_1).$$

Дифференциальные уравнения подвеса при произвольном очертании линии меридиана. Безразмерная форма. Из уравнений (1—3) следует, что упругие перемещения поверхности подвеса по всем трем направлениям, в той или иной степени, влияют друг на друга. Степень этого влияния установим в последующем.

Для удобства интегрирования следует перейти к безразмерным коэффициентам.

Так как

$$\zeta=\frac{\delta}{R};\ \eta=\frac{R}{\ell};\ \mu=8\zeta(1+\zeta)\eta^2;\ \xi(z)=\frac{\zeta}{1+\zeta}\left(\frac{2z}{\ell}\right)^2;$$

$$\xi'(z)=\frac{4\delta}{(R+\delta)\ell}\left(\frac{2z}{\ell}-1\right);\ \xi''(z)=\frac{8\delta}{(R+\delta)\ell^2},$$

то в случае круглого цилиндра имеем:

$$\delta=0;\quad \zeta=0;\quad \mu=0;\quad \xi(z)=0.$$

Итак, введем следующие обозначения:

$$\frac{z}{\ell}=\bar{z};\ \frac{U_z}{h}=\bar{U}_z;\ \frac{U_\varphi}{h}=\bar{U}_\varphi;\ \frac{W}{h}=\overline{W};\ \omega_0 t=\bar{t}.$$

С целью упрощения дальнейшего изложения, опустим черточку сверху. Пренебрегая малыми слагаемыми, в окончательном виде уравнения поплавкового подвеса с произвольным очертанием линии меридиана можно записать в виде:

$$\frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2}-a_1(2z-1)\frac{\partial U_z}{\partial z}-a_2U_z+a_3\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial z\partial\varphi}-a_4\frac{\partial W}{\partial z}=$$
$$=\left[1+\alpha_1(2z-1)^2\right]\left(-q_1^*+\alpha^{*2}\frac{\partial^2 U_z}{\partial t^2}\right);\qquad(5)$$

$$\frac{\partial^2 U\varphi}{\partial\varphi^2}+b_1\left[1-\beta_1(2z-1)^2\right]\frac{\partial^2 U_z}{\partial z\partial\varphi}-b_2\left[1-\beta_2(2z-1)^2\right]\times$$
$$\times\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial z^2}-b_3(2z-1)\frac{\partial U_\varphi}{\partial z}-b_4(2z-1)\frac{\partial U_z}{\partial\varphi}+b_5U_\varphi-b_6\frac{\partial W}{\partial\varphi}=$$
$$=\left[1-\beta_3(2z-1)^2\right]\left(-q_2^*+\beta^{*2}\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial t^2}\right);\qquad(6)$$

$$\left[-1+\beta_4(2z-1)^2\right]\frac{\partial^4 W}{\partial z^4}-c_1\frac{\partial^4 W}{\partial z^2\partial\varphi^2}-c_2\frac{\partial^4 W}{\partial\varphi^4}+$$
$$+c_3(2z-1)\frac{\partial^3 W}{\partial z^3}-c_4\frac{\partial^3 W}{\partial z\partial\varphi^2}+c_5\frac{\partial^2 W}{\partial z^2}--c_6\frac{\partial^2 W}{\partial\varphi^2}-$$
$$-c_7(2z-1)\frac{\partial W}{\partial z}-c_8\frac{\partial^3 U_\varphi}{\partial\varphi^3}-c_9\frac{\partial^3 U_\varphi}{\partial z^2\partial\varphi}-c_{10}\frac{\partial^3 U_z}{\partial z\partial\varphi^2}+$$
$$+c_{11}(2z-1)\frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2}++c_{12}(2z-1)\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial z\partial\varphi}+c_{13}\frac{\partial U_z}{\partial z}+$$
$$+c_{14}\frac{\partial U_\varphi}{\partial\varphi}-c_{15}(2z-1)U_z=\left[1-\beta_5(2z-1)\right]\left(q_3^*+\gamma^{*2}\frac{\partial^2 W}{\partial t^2}\right),\quad(7)$$

где

$$a_1=4(1+2\nu)\frac{\delta}{R(1+\zeta)};\ a_2=8\nu\frac{\delta}{R(1+\zeta)};$$

$$a_3=\frac{1}{2}\frac{1+\nu}{1+\zeta}\frac{l}{R};\ a_4=\frac{\nu+\mu}{1+\zeta}\frac{h}{R};$$

$$q_1^*=(1-\nu^2)\frac{l^2}{Eh^2}q_1;\ \alpha^{*2}=(1-\nu^2)\frac{\rho\omega_0^2 l^2}{E};\ \alpha_1=2\mu\frac{\delta}{R(1+\zeta)};$$

$$b_1=\frac{1}{2}(1+\nu)(1+\zeta)\left(\frac{R}{l}\right);\ b_4=2(3-\nu)\frac{\delta}{l};$$

$$b_2=\frac{1}{2}(1-\nu)(1+\zeta)^2\left(\frac{R}{l}\right)^2;\ b_5=4(1-\nu)(1+\zeta)\frac{\delta R}{l^2};$$

$$b_3=2(1-\nu)(1+\mu)(1+\zeta)\frac{\delta R}{l^2};\ b_6=1+\nu\mu;$$

$$\beta_1=\frac{1+\mu}{1+\zeta}\frac{\delta}{R};\ \beta_2=2\frac{1+\mu}{1+\zeta}\frac{\delta}{R};\ \beta_3=\frac{\delta}{R(1+\zeta)};\ \beta_2=2\beta_1;$$

$$q_2^*=(1-\nu^2)\frac{R^2(1+\zeta)^2}{Eh^2}q_2;\ \beta^{*2}=(1-\nu^2)\frac{\rho\omega_0^2}{E}R^2(1+\zeta)^2;$$

$$\beta_4=\frac{1+2\mu}{1+\zeta}\left(\frac{\delta}{R}\right);$$

$$c_1=\frac{2}{(1+\zeta)^2}\left(\frac{l}{R}\right)^2;\ c_2=\frac{1}{(1+\zeta)^4}\left(\frac{l}{R}\right)^4;$$

$$c_3=8\frac{1+3\mu}{1+\zeta}\left(\frac{\delta}{R}\right);\ c_4=4\frac{(1-\nu)(3-\mu)}{(1+\zeta)^3}\frac{\delta}{R}\left(\frac{l}{R}\right)^2;$$

$$c_5=8\frac{(1+\nu+4\mu)}{1+\zeta}\left(\frac{\delta}{R}\right);\ c_6=16\frac{(1-\nu)}{(1+\zeta)^3}\left(\frac{\delta}{R}\right)\left(\frac{l}{R}\right)^2;$$

$$c_7=\frac{32\mu(\nu+\mu)}{(1+\zeta)^2}\left(\frac{\delta}{R}\right)^2;\ c_8=\frac{1}{(1+\zeta)^4}\left(\frac{l}{R}\right)^4;$$

$$c_9=\frac{1-\nu}{(1+\zeta)^2}\left(\frac{l}{R}\right)^2;\ c_{10}=\frac{\nu\mu}{(1+\zeta)^3}\left(\frac{l}{R}\right)^3;$$

$$c_{11}=\frac{4\mu^2}{(1+\zeta)^2}\left(\frac{\delta}{R}\right)\left(\frac{l}{R}\right);\ c_{12}=\frac{4\mu(1-\nu)(3-\mu)}{(1+\zeta)^3}\left(\frac{\delta}{R}\right)\left(\frac{l}{R}\right)^2;$$

$$c_{13}=12(\nu+\mu)\frac{l^3}{Rh^2};\ c_{14}=12\frac{1+\nu\mu}{(1+\zeta)^2}\frac{l^4}{R^2h^2};$$

$$c_{15}=\frac{4(1+\nu\mu)}{(1+\zeta)^2}\left(\frac{\delta}{R}\right)\frac{12l^3}{Rh^2};\quad \gamma^{*2}=12(1-\nu^2)\left(\frac{l}{h}\right)^4\frac{\rho h\omega_0^2}{E};$$

$$\beta_5=\frac{1-\mu}{1+\zeta}\left(\frac{\delta}{R}\right).$$

Уравнения цилиндрического подвеса в перемещениях. Безразмерная форма. Уравнения круговой цилиндрической оболочки в безразмерной форме примут вид:

$$\frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2}+\frac{1+\nu}{2R}\frac{\ell}{R}\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial z\partial\varphi}-\frac{\nu h}{R}\frac{\partial W}{\partial z}=$$
$$=-\frac{(1-\nu^2)\ell^2}{Eh^2}q_1+\frac{(1-\nu^2)\ell^2\rho\omega_0^2}{E}\frac{\partial^2 U_z}{\partial t^2};\qquad(8)$$

$$\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial\varphi^2}-\frac{1-\nu}{2}\frac{R}{\ell}\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial z^2}+\frac{1+\nu}{2}\frac{R}{\ell}\frac{\partial^2 U_z}{\partial z\,\partial\varphi}-\frac{\partial W}{\partial\varphi}=$$
$$-(1-\nu^2)\frac{R^2}{Eh^2}q_2+\frac{\rho\omega_0^2R^2}{E}\frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial t^2};\qquad(9)$$

$$-\frac{\partial^4 W}{\partial z^4}-2\frac{\ell}{R^2}\frac{\partial^4 W}{\partial z^2\partial\varphi^2}-\frac{\ell^4}{R^4}\frac{\partial^4 W}{\partial\varphi^4}-\frac{\ell^4}{R^4}\frac{\partial^3 U_\varphi}{\partial\varphi^3}-$$
$$-(1-\nu)\frac{\ell^2}{R^2}\frac{\partial^3 U_\varphi}{\partial z^2\partial\varphi}+12\nu\frac{\ell^3}{Rh^2}\frac{\partial U_z}{\partial z}+12\nu\frac{\ell^3}{Rh^2}\frac{\ell^4}{R^2h^2}\frac{\partial U_\varphi}{\partial\varphi}=$$

$$=\frac{12\left(1-\nu^2\right)}{E}\frac{\ell^4}{h^2}q_3+12\left(1-\nu^2\right)\frac{\ell^4}{h^2}\frac{\rho h\omega_0^2}{E}\frac{\partial^2 W}{\partial t^2}. \quad (10)$$

Логическим продолжением уже полученного служит построение методических и математических предпосылок для выполнения приближенного интегрирования уравнений подвеса. Суть предлагаемого метода изложим в самом общем виде.

Принимаем, что поверхность поплавка нагружена произвольным внешним динамическим воздействием (распределенным, или сосредоточенным — в точке, по линии, по площади и т. п.). Считаем также, что на краях поплавка ($z = 0$, $z = 1$) заданы некоторые граничные условия — кинематические, геометрические или силовые.

Излагаемый метод предусматривает выполнение двух этапов: вначале проводится процедура разделения переменных в уравнениях движения при помощи метода Фурье; затем используется метод Бубнова — Галеркина.

Поскольку рассматриваются замкнутые оболочки вращения, то в окружном направлении (вдоль параллели) следует ожидать периодичности силовых и кинематических полей, то есть они должны определенным образом зависеть от периодических функций вида $\cos k\varphi$, $\sin k\varphi$ ($k = 0, 1, ...$). В свою очередь, внешнее динамическое нагружение по трем направлениям может быть и непериодическим по координате φ. Но нагрузки $q_i^* = q_i^*(t,z,\varphi)$, $i=\overline{1,3}$ всегда можно, во всяком случае формально, представить в виде рядов Фурье по координате φ.

Поэтому считаем, что

$$q_i^* = q_i^*(t,z,\varphi)=$$
$$=\sum_{k=0}^{\infty}\left[q_{i,k}^{(1)}(t,z)\cos k\varphi+q_{i,k}^{(2)}(t,z)\sin k\varphi\right],\ i=\overline{1,3}. \quad (11)$$

В соответствии с этим и структура координатных функций будет иметь вид:

$$U_z=U_z(t,z,\varphi);\quad U_\varphi=U_\varphi(t,z,\varphi);\quad W=W(t,z,\varphi). \quad (12)$$

Вначале представим их следующим образом:

$$U_z=\sum_{k=0}^{\infty}\left[U_{z,k}^{(1)}(t,z)\cos k\varphi+U_{z,k}^{(2)}(t,z)\sin k\varphi\right]; \quad (13)$$

$$U_\varphi=\sum_{k=0}^{\infty}\left[U_{\varphi,k}^{(1)}(t,z)\sin k\varphi+U_{\varphi,k}^{(2)}(t,z)\cos k\varphi\right]; \quad (14)$$

$$W=\sum_{k=0}^{\infty}\left[W_k^{(1)}(t,z)\cos k\varphi+W_k^{(2)}(t,z)\sin k\varphi\right]. \quad (15)$$

Соотношения (11, 13, 14) в дальнейшем следует подставить в дифференциальные уравнения (8—10) и провести процедуру разделения переменных методом Фурье для каждого из деформированных состояний.

5. Выводы

Генерируемые в поверхности поплавкового подвеса пространственные нелинейные колебания в своей совокупности приводят к возникновению возмущающих моментов Эйлеровых сил инерции. Устранение этого фактора, или уменьшение его влияния, видится в формировании такой геометрии подвижной части гироскопа, когда колебания поверхности станут незначительными по величине. Другими словами, следует решать задачу оптимизации поверхности в плане усиления ее импедансных свойств в акустическом поле. Здесь следует обратить внимание, в первую очередь, на ее антисимметричный импеданс.

Наличие пространственной математической модели подвеса гироскопа создает условия и для других путей уменьшения влияния звукового воздействия. В частности, раскрываются широкие возможности программного обеспечения решаемых задач.

Литература

1. Сайдов, В. П. Теория гироскопов [Текст] : учеб. пособие / В. П. Сайдов. — М.: Высш. шк., 1965. —378 с.
2. Ягодкин, В. В. Гироприборы баллистических ракет [Текст] : учеб. пособие / В. В. Ягодкин, Г. А. Хлебников. — М.: Воениздат, 1967. — 197 с.
3. Данилин, В. П. Гироскопические приборы [Текст] : учеб. пособие / В. П. Данилин. — М.: Высш. шк., 1965. — 539 с.
4. Браславский, Д. А. Авиационные приборы [Текст] : учеб. пособие / Д. А. Браславский, С. С. Логунов, Д. С. Пельпор. — М.: Машиностроение, 1965. — 561 с.
5. Ригли, У. Теория, проектирование и испытания гироскопов [Текст]: пер. с англ. / У. Ригли, У. Холлистер, У. Денхард. — М.: Мир, 1972. — 416 с.
6. Denhard, W. G. Laboratory Testing of Floated Single-Degree-of-Freedom Integrating Inertial Gyro [Text] / W. G. Denhard; J. Rossbach (Ed) // Instrumentation Laboratory, Massachusetts Institute of Technology. — Cambridge, Mass. — September, 1966. — Part III, Appendix 7. — R-105.
7. Karachun, V. V. Influence of Diffraction Effects of the Inertial Sensors of a Gyroscopically Stadilized Platform: Three — Dimensional Problem [Text] / V. V. Karachun, V. N. Mel'nick // Int. Appl. Mech. — 2012. — Vol. 48(4). — P. 458—464.
8. Mel'nick, V. N. The loss of energy of acoustic waves [Text] : материали за VI международна научна практична конференция София,17—25 април 2010 г. / V. N. Mel'nick, V. V. Karachun, O. I. Levchenko // Основи проблеми на съвременна та наука-2010. — Str. 66—68.
9. Dyer, I. Noise environments of flight vehicles [Text] / I. Dyer // NOISE Control. — 1960. — Vol. 6, № 1. — P. 31—40.
10. Heckl, M. A. Vibrations of point-driven cylindrical shells [Text] / M. A. Heckl // J. Acoustic Soc. Am. — 1962. — Vol. 34, № 10. — P. 1553—1557.
11. Maidanik, Ct. Response of ribbed panels to reverberant acoustic fields [Text] / Ct. Maidanik // J. Acoustic Soc. Am. — 1962. — Vol. 34, № 6. — P. 809—826.
12. 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.

ЛІНІЙНО ПРУЖНИЙ ПІДВІС ПОПЛАВКОВОГО ГІРОСКОПА В АКУСТИЧНОМУ ПОЛІ

Будується система диференціальних рівнянь поплавкового підвісу гіроскопа в переміщеннях за відсутності трансляції енергії згинного руху оболонкової частини на торці. Вивчається тривимірна задача. З метою встановлення оптимальної геометрії оболонкової частини і вирішення задач оптимізації передбачається довільне окреслення лінії меридіану. Як окремий випадок, випливають рівняння пружного стану колового циліндра.

Ключові слова: поплавковий підвіс гіроскопа, координатні функції, пружний стан, лінія меридіану.

Бойко Галина Владимировна, *соискатель, кафедра биотехники и инженерии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина,* ***e-mail: karachun11@i.ua***.

Бойко Галина Володимирівна, *здобувач, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.*

Boiko Galyna, *National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine,* ***e-mail: karachun11@i.ua***