12. Антонов, А.А. [Контроль уровня остаточных напряжений в сварных соединениях методами лазерной инферометри] А.А. Ане тонов.// Сварочное производство. 1983. - №9. – С. 21 - 23.
13. Gabbor, D.A. [New microscopy principle] Gabbor D.A.//- Nature. 1948. - 161c.
14. Гинзбург, В.М. [Голография: методы. Аппаратура]/ под ред. В.М. Гинзбург и Б.М. Степанова. - М.: Сов. Радио.- 1974. -155 с.
15. Смарнов-Аляев, Г.А. [Эксперементальные исследования в обработке металлов давлением]/ Г.А. Смарнов-Аляев , В.А. Чикидовский. – А.: Машиностроение – 1972. – 310 с.
16. Пригоровский, Н.И. [Напряжения и деформации в деталях и узлах машин] /Под. ред. Н.И. Пригоровского - М.:Машгиз. – 1961. – 275 с.
17. Чиченев, Н.А. [Методы исследования процессов обработки металлов давлением]/ Н.А. Чиченев, А.В. Кукдрин, П.И. Полухин. – М.: Металлургия. 1977. - 325 с.
18. Daily, W.V. [Experimental stress analysis]/ W.V. Daily, W.F. Riley – New York: Mc. – Graw-Hill Book co 1978. - 268c.
19 Дель, Г.Д. [Определения напряжений в пластической области по распределению твердости]/ Г. Д. Дель. М.: «Машиностроение», 1971. – 247 с.
20. Барретт, Ч.С. [Структура металлов] / Ч.С. Барретт. - М.: Металлургиздат 1948 – 387 с.
21. Качанов, Н.Н. [Рентгеноструктурный анализ поликристаллов (практическое руководство)]/ Н.Н. Качанов, Л.И. Миркин. - М.: Машгиз. - 1960. - 697 с.
22. Аксенов, Г.А. [Общая теория рассеяния рентгеновых лучей металлом, находящимся в линейном напряженном состоянии] /Г.А.Аксенов //Прикладная физика. Т.6, 1929. – С. 3-45
23. Аксенов, Г.А. [Общая теория рассеяния рентгеновых лучей металлом, находящимся в линейном напряженном состоянии] /Г.А.Аксенов //Теоретическая и экспериментальная физика. - 1929. - т.4. - С.627 – 659.
24. Желдак, О.В.[Сума главных напряжений при плоско-напряженом состоянии]/ О.В. Желдак, Б.П. Курдюмов, Е.В.Протолов. // Заводская лаборатория. - 1934. - №7. – С.1728 - 1854
25. Ромберг, А.В. [Ренгеноанализ обьемных-напряженных состояний]/ А.В. Ромберг //Техническая физика. 1937. – т.7. - С.1638 – 1676.
26. Боцофен, С.Я. [Рентгеноструктурные методы определения остаточных напряжений в поверхностных слоях с градиентной структурой]/ С.Я. Боцофен //Фізична хімія. Механіка матеріалів.- 2006. - №3. – С.77-84.

УДК 629.7.054

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВУХКАНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОКОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ПОМЕХ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

В.В. Карачун
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой*

В.Н. Мельник
Доктор технических наук, доцент
*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

Встановлено вплив кореляційних функцій зв'язку кутового руху основи на величину дрейфа осі фігури гіроскопа напрямку зі структурною надмірністю. Окреслюються шляхи підвищення ефективності автокомпенсації впливу кінематичного збурення стохастичної структури

Ключові слова: кореляційні функції, гіроскоп напрямку, уходи гіроскопа

Устанавливается влияние корреляционных функций связи углового движения основания на величину дрейфа оси фигуры гироскопа направления со структурной избыточностью. Намечаются пути повышения эффективности автокомпенсации влияния кинематического возмущения стохастической структуры

Ключевые слова: корреляционные функции, гироскоп направления, уходы гироскопа

Influence of cross-correlation functions of connection of angular motion of founding is set on the size of drift of axis of figure of gyroscope of direction with structural surplus. The ways of increase of efficiency of autoindemnification of influence of kinematics indignation of stochastic structure are set

Keywords: cross-correlation functions, gyroscope of direction, cares of gyroscope

Введение

Исследования относятся к области прикладной механики и посвящены изучению особенностей работы гироскопа направления на базе трехстепенного астатического гироскопа в условиях стохастического характера углового движения основания. Изучаются особенности погрешностей курсоуказания в схемах со структурной избыточностью на основе прямого использования принципа двухканальности [1, 2].

Метод двухканальности имеет существенное преимущество перед иными методами компенсации – реверсирование вектора кинетического момента, принудительное вращение подвеса относительно оси, параллельной вектору кинетического момента [3, 4]. Он позволяет подавлять влияние мгновенных значений помех, а не в среднем за период вращения, технически проще реализуется [5, 6].

Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследований

Наличие достоверной навигационной информации на борту подвижных объектов позволяет с успехом решать задачи маршевой навигации, топологической привязки аппарата, взаимодействие объектов различного целевого назначения и средств базирования, а также ряд других задач.

Навигационной информации должны быть присущи такие качества как *непрерывность, точность, полнота данных, помехозащищенность, инвариантность к изменениям климатических и суточных условий*.

Ошибки выведения ракет-носителей, как известно, могут привести к существенному сокращению времени существования космического аппарата и возникновению нештатных ситуаций. Ошибки курсоуказания на море – к снижению безопасности судовождения. Ошибки внешнего курсоуказания на боевых машинах – к стремительному росту уязвимости отдельной боевой единицы.

Целью исследований является анализ степени влияния стохастических кинематических возмущений со стороны качающегося корпуса подвижного аппарата на эффективность подавления влияния внешних воздействий инерциальных систем внешнего курсоуказания.

Уравнения возмущенного движения гироскопа направления в условиях стационарного и стационарно связанного углового движения аппарата

Уравнения первого приближения для каждого гироскопа запишем в виде [5]:

$$\beta_{11}\Delta_{01} = \Big\{ \Big\{ -C_1B_2A_2(\beta_{02})\mathrm{tg}\beta_{01}H_1\cos\beta_{01}p^4 - \Big\{ \big[A_2(\beta_{02})n_2 + B_2m_2\big]C_1\mathrm{tg}\beta_{01}\times$$
$$\times H_1\cos\beta_{01} + k_{02}B_2\big[A_2(\beta_{02})C_1\mathrm{tg}\beta_{01} - A_1(\beta_{01})C_2\mathrm{tg}\beta_{02}\big]\Big\}p^3 +$$
$$+\Big\{k_{02}C_2\mathrm{tg}\beta_{02}\big[A_1(\beta_{01})n_2 + B_2m_1\big] - C_1\mathrm{tg}\beta_{01}\big(m_2n_2 + H_2^2\cos^2\beta_{02}\big)H_1\cos\beta_{01} -$$
$$-k_{02}C_1\mathrm{tg}\beta_{01}\big[A_2(\beta_{02})n_2 + B_2m_2\big]\Big\}p^2 + \Big[-k_{02}C_1\mathrm{tg}\beta_{01}\big(H_1\cos\beta_{01}H_2\cos\beta_{02} +$$
$$+H_2^2\cos^2\beta_{02} + m_2n_2\big) - k_{01}C_1\mathrm{tg}\beta_{01}H_1\cos\beta_{01}H_2\cos\beta_{02} + C_2\mathrm{tg}\beta_{02}\big(k_{02}m_1n_2 +$$
$$+k_{01}H_1\cos\beta_{01}H_2\cos\beta_{02}\big)\Big]p - k_{01}k_{02}\big(C_1\mathrm{tg}\beta_{01} - C_2\mathrm{tg}\beta_{02}\big)\times$$
$$\times\big(H_1\cos\beta_{01} + H_2\cos\beta_{02}\big)\Big\}\Big\}\omega_{2x}^{(1)} = \big(a_1p^4 + a_2p^3 + a_3p^2 + a_4p + a_5\big)\omega_{2x}^{(1)} \tag{1}$$

$$\beta_{12}\Delta_{01} = \Big\{ \Big\{C_2\mathrm{tg}\beta_{02}A_1(\beta_{01})B_1H_2\cos\beta_{02}p^4 + \Big\{ \big[A_1(\beta_{01})n_1 + B_1m_1\big]C_2\mathrm{tg}\beta_{02}\times$$
$$\times H_2\cos\beta_{02} + k_{02}B_1\big[A_1(\beta_{01})C_2\mathrm{tg}\beta_{02} - A_2(\beta_{02})C_2\mathrm{tg}\beta_{02}\big]\Big\}p^3 +$$
$$+\Big\{-k_{02}C_1\mathrm{tg}\beta_{01}\big[A_2(\beta_{02})n_1 + B_1m_2\big] + C_2\mathrm{tg}\beta_{02}\big(m_1n_1 + H_1^2\cos^2\beta_{01}\big)H_2\cos\beta_{02} +$$
$$+k_{02}C_2\mathrm{tg}\beta_{02}\big[A_1(\beta_{01})n_1 + B_1m_1\big]\Big\}p^2 + \Big[k_{02}C_2\mathrm{tg}\beta_{02}\big(H_1\cos\beta_{01}H_2\cos\beta_{02} +$$
$$+H_1^2\cos^2\beta_{01} + m_1n_1\big) + k_{01}C_2\mathrm{tg}\beta_{02}H_1\cos\beta_{01}H_2\cos\beta_{02} - C_1\mathrm{tg}\beta_{01}\big(k_{02}m_2n_1 +$$
$$+k_{01}H_1\cos\beta_{01}H_2\cos\beta_{02}\big)\Big]p + k_{01}k_{02}\big(C_1\mathrm{tg}\beta_{01} - C_2\mathrm{tg}\beta_{02}\big)\times$$
$$\times\big(H_1\cos\beta_{01} + H_2\cos\beta_{02}\big)\Big\}\Big\}\omega_{2x}^{(1)} = \big(b_1p^4 + b_2p^3 + b_3p^2 + b_4p + b_5\big)\omega_{2x}^{(1)}$$

здесь введены демпфирующие члены $m_ip\alpha_i$, $n_ip\beta_i$ (i=1, 2). Определитель системы имеет вид:

$$\Delta_{01} = A_1(\beta_{01})A_2(\beta_{02})B_1B_2p^6 + \Big\{A_1(\beta_{01})A_2(\beta_{02})\big(B_1n_2 + B_2n_1\big) + B_1B_2\times$$
$$\times\big[A_1(\beta_{01})m_2 + A_2(\beta_{02})m_1\big]\Big\}p^5 + \Big\{A_1(\beta_{01})B_1H_2^2\cos^2\beta_{02} + A_2(\beta_{02})B_2H_1^2\times$$
$$\times\cos^2\beta_{01} + A_1(\beta_{01})A_2(\beta_{02})n_1n_2 + B_1B_2m_1m_2 + \big[A_1(\beta_{01})m_2 + A_2(\beta_{02})m_1\big]\times$$
$$\times\big(B_1n_2 + B_2n_1\big)\Big\}p^4 + \Big\{k_{01}A_1(\beta_{01})B_1H_2\cos\beta_{02} + k_{02}A_2(\beta_{02})B_2H_1\cos\beta_{01} +$$
$$+k_{01}A_2(\beta_{02})B_2H_1\cos\beta_{01} + k_{02}A_1(\beta_{01})B_1H_2\cos\beta_{02} + m_1m_2\big(B_1n_2 + B_2n_1\big) +$$
$$+n_1n_2\big[A_1(\beta_{01})m_2 + A_2(\beta_{02})m_1\big] + \big[A_1(\beta_{01})n_1 + B_1m_1\big]H_2^2\cos^2\beta_{02} +$$
$$+\big[A_2(\beta_{02})n_2 + B_2m_2\big]H_1^2\cos^2\beta_{01}\Big\}p^3 + \Big\{H_1^2\cos^2\beta_{01}H_2^2\cos^2\beta_{02} - k_{01}k_{02}\times$$
$$\times\big[A_1(\beta_{01})B_2 + A_2(\beta_{02})B_1 - A_1(\beta_{01})B_1 - A_2(\beta_{02})B_2\big] + m_1m_2n_1n_2 +$$
$$+m_1n_1H_2^2\cos^2\beta_{02} + m_2n_2H_1^2\cos^2\beta_{01} + \big[A_2(\beta_{02})n_2 + B_2m_2\big]\big(k_{01} + k_{02}\big)\times$$
$$\times H_1\cos\beta_{01} + \big[A_1(\beta_{01})n_1 + B_1m_1\big]\big(k_{01} + k_{02}\big)H_2\cos\beta_{02}\Big\}p^2 + \big(k_{01} + k_{02}\big)\times$$
$$\times\Big[\big(H_1\cos\beta_{01} + H_2\cos\beta_{02}\big)H_1\cos\beta_{01}H_2\cos\beta_{02} + m_1n_1H_2\cos\beta_{02} +$$
$$+m_2n_2H_1\cos\beta_{01}\Big]p + k_{01}k_{02}\big(H_1\cos\beta_{01} + H_2\cos\beta_{02}\big)^2 \tag{2}$$

С учетом значений угловых скоростей

$$\omega_{2xi}^{(1)} = \dot\theta\cos\alpha_{oi} - \dot\psi\sin\alpha_{oi};$$

$$\omega_{2yi}^{(1)} = -\dot\theta\sin\alpha_{oi} - \dot\psi\cos\alpha_{oi}, \ (i=1,\ 2), \tag{3}$$

частные решения уравнений (1) можно представить в виде:

$$\beta_{11} = \int_0^t S\big(\lambda_i, \mu_i, e^{-\lambda_i(t-\tau)}\big)\Big\{a_1\big[\theta^V(\tau)\cos\alpha_{01} - \psi^V(\tau)\sin\alpha_{01}\big] +$$

$$+a_2\left[\theta^{IV}(\tau)\cos\alpha_{01}-\psi^{IV}(\tau)\sin\alpha_{01}\right]+a_3\left[\theta^{III}(\tau)\cos\alpha_{01}-\psi^{III}(\tau)\sin\alpha_{01}\right]+$$
$$+a_4\left[\theta^{II}(\tau)\cos\alpha_{01}-\psi^{II}(\tau)\sin\alpha_{01}\right]+a_5\left[\theta^{I}(\tau)\cos\alpha_{01}-\psi^{I}(\tau)\sin\alpha_{01}\right]\Big\}d\tau \quad (4)$$

$$\beta_{12}=\int_0^t S\left(\lambda_i,\mu_i,e^{-\lambda_i(t-\tau)}\right)\Big\{b_1\left[\theta^{V}(\tau)\cos\alpha_{02}-\psi^{V}(\tau)\sin\alpha_{02}\right]+$$
$$+b_2\left[\theta^{IV}(\tau)\cos\alpha_{02}-\psi^{IV}(\tau)\sin\alpha_{02}\right]+b_3\left[\theta^{III}(\tau)\cos\alpha_{02}-\psi^{III}(\tau)\sin\alpha_{02}\right]+$$
$$+b_4\left[\theta^{II}(\tau)\cos\alpha_{02}-\psi^{II}(\tau)\sin\alpha_{02}\right]+b_5\left[\theta^{I}(\tau)\cos\alpha_{02}-\psi^{I}(\tau)\sin\alpha_{02}\right]\Big\}d\tau \quad (5)$$

где $S\left(\lambda_i,\mu_i,e^{-\lambda_i(t-\tau)}\right)=\sum_{i=1}^{3}e^{-\lambda_i(t-\tau)}C_k\left(\lambda_i,\mu_i\right)$,

($k=1\div 6$), ($\alpha_i\pm j\mu_i$) – корни уравнения (2). Значения произволь- ных постоянных C_k можно определить, например, методом вариации произвольных постоянных. Ввиду громоздкости в дальнейшем приводятся в общем виде. Запишем выражения моментов M_i:

$$M_{11}=-\frac{k_{01}H_1\sin 2\beta_{01}}{2A_1(\beta_{01})p}\left[1-\frac{2R_1\cos\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\beta_{11}\beta_{12}-\frac{R_1\sin 2\beta_{01}}{A_1^2(\beta_{01})p^2}k_{01}^2\beta_{11}\beta_{12}+\frac{n!}{r!(n-r)!}$$
$$+\frac{R_1\sin 2\beta_{01}}{2A_1^2(\beta_{01})p^2}k_{01}^2\beta_{12}^2-\frac{H_1^2\cos^2\beta_{01}\sin\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\left[1-\frac{R_1\cos\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\beta_{11}^2+$$
$$+\frac{k_{01}H_1\sin 2\beta_{01}}{2A_1(\beta_{01})p}\left[1-\frac{2R_1\cos\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\beta_{11}^2+\frac{R_1\sin 2\beta_{01}}{2A_1^2(\beta_{01})p^2}k_{01}^2\beta_{11}^2-\frac{R_1C_1\mathrm{tg}\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\times$$
$$\times\left[1-\frac{C_1\mathrm{tg}\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\left(\omega_{2x}^{(1)}\right)^2-\frac{k_{01}R_1}{A_1(\beta_{01})p}\left[1-\frac{2C_1\sin^2\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\beta_{12}\omega_{2x}^{(1)}+\left\{\frac{H_1}{\cos\beta_{01}}\times\right.$$
$$\left.\times\left[1-\frac{C_1\sin^2\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]-\frac{R_1H_1}{A_1(\beta_{01})}\left[1-\frac{2C_1\sin^2\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\right\}\beta_{11}\omega_{2x}^{(1)}+\frac{k_{01}R_1}{A_1(\beta_{01})p}\times$$
$$\times\left[1-\frac{2C_1\sin^2\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\beta_{11}\omega_{2x}^{(1)}$$

$$M_{21}=\frac{k_{01}H_2\sin 2\beta_{02}}{2A_2(\beta_{02})p}\left[1-\frac{2R_2\cos\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\beta_{11}\beta_{12}-\frac{R_2\sin 2\beta_{02}}{A_2^2(\beta_{02})p^2}k_{01}^2\beta_{11}\beta_{12}+$$
$$+\frac{R_2\sin 2\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}k_{01}^2\beta_{11}^2-\frac{H_2^2\cos^2\beta_{02}\sin\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\left[1-\frac{R_2\cos\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\beta_{12}^2-$$
$$-\frac{k_{01}H_2\sin 2\beta_{02}}{2A_2(\beta_{02})p}\left[1-\frac{2R_2\cos\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\beta_{12}^2+\frac{R_2\sin 2\beta_{02}}{2A_2^2(\beta_{02})p^2}k_{01}^2\beta_{12}^2-\frac{R_2C_2\mathrm{tg}\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\times$$
$$\times\left[1-\frac{C_2\mathrm{tg}\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\left(\omega_{2x}^{(1)}\right)^2-\frac{k_{01}R_2}{A_2(\beta_{02})p}\left[1-\frac{2C_2\sin^2\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\beta_{11}\omega_{2x}^{(1)}-\left\{\frac{H_2}{\cos\beta_{02}}\times\right.$$
$$\left.\times\left[1-\frac{C_2\sin^2\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]-\frac{R_2H_2}{A_2(\beta_{02})}\left[1-\frac{2C_2\sin^2\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\right\}\beta_{12}\omega_{2x}^{(1)}+\frac{k_{01}R_2}{A_2(\beta_{02})p}\times$$
$$\times\left[1-\frac{2C_2\sin^2\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\beta_{12}\omega_{2x}^{(1)}$$

$$M_{12}=\frac{1}{2}H_1\sin 2\beta_{01}\left[1-\frac{R_1\cos\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\beta_{11}\omega_{2y}^{(1)}-\left[D_1+\frac{R_1C_1\sin^2\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\omega_{2x}^{(1)}\omega_{2y}^{(1)}+$$
$$+B_1p\beta_{11}\omega_{2x}^{(1)}-\frac{R_1\sin 2\beta_{01}}{2A_1(\beta_{01})p}k_{01}\beta_{11}\omega_{2y}^{(1)}-\frac{R_1\sin 2\beta_{01}}{2A_1(\beta_{01})p}k_{01}\beta_{11}\omega_{2y}^{(1)}$$
$$\times\omega_{2x}^{(1)}\omega_{2y}^{(1)}+B_2p\beta_{12}\omega_{2x}^{(1)}-\frac{R_2\sin 2\beta_{02}}{2A_2(\beta_{02})p}k_{01}\beta_{12}\omega_{2y}^{(1)}-\frac{R_2\sin 2\beta_{02}}{2A_2(\beta_{02})p}k_{01}\beta_{12}\omega_{2y}^{(1)}$$

$$M_{22}=-\frac{1}{2}H_2\sin 2\beta_{02}\left[1-\frac{R_2\cos\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\beta_{12}\omega_{2y}^{(1)}-\left[D_2+\frac{R_2C_2\sin^2\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\times \quad (6)$$

Перейдем к рассмотрению уходов гироскопа при случайных возмущениях основания. Применив операцию математического ожидания, можно установить значения математических ожиданий уходов схемы автокомпенсации. Осредняя полученные выражения и удерживая только постоянные составляющие, с учетом (6), получим:

$$\left\langle\dot\beta\right\rangle\left(H_1\cos\beta_{01}+H_2\cos\beta_{02}\right)=\frac{1}{2}H_1\sin 2\beta_{01}\left[1-\frac{R_1\cos\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\left\langle\overline{\beta_{11}\omega_{2x}^{(1)}}\right\rangle-$$
$$-\left[D_1+\frac{R_1C_1\sin^2\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\left\langle\overline{\omega_{2x}^{(1)}\omega_{2y}^{(1)}}\right\rangle+\frac{1}{2}H_2\sin 2\beta_{02}\left[1-\frac{R_2\cos\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\left\langle\overline{\beta_{12}\omega_{2x}^{(1)}}\right\rangle-$$
$$-\left[D_2+\frac{R_2C_2\sin^2\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\left\langle\overline{\omega_{2x}^{(1)}\omega_{2y}^{(1)}}\right\rangle \quad (7)$$

$$\left\langle\dot\alpha\right\rangle\left(H_1\cos\beta_{01}+H_2\cos\beta_{02}\right)=-\frac{H_1^2\cos^2\beta_{01}\sin\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\left[1-\frac{R_1\cos\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\left\langle\overline{\beta_{11}^2}\right\rangle+$$
$$+\frac{H_2^2\cos^2\beta_{02}\sin\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\left[1-\frac{R_2\cos\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\left\langle\overline{\beta_{12}^2}\right\rangle-\frac{R_1C_1\mathrm{tg}\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\left[1-\frac{C_1\mathrm{tg}\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\times$$
$$\times\left\langle\overline{\left(\omega_{2x}^{(1)}\right)^2}\right\rangle+\frac{R_2C_2\mathrm{tg}\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\left[1-\frac{C_2\mathrm{tg}\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\left\langle\overline{\left(\omega_{2x}^{(1)}\right)^2}\right\rangle+\left\{\frac{H_1}{\cos\beta_{01}}\left[1-\frac{C_1^2\sin^2\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]-\right.$$
$$\left.-\frac{R_1H_1}{A_1(\beta_{01})}\left[1-\frac{2C_1\sin^2\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\right\}\left\langle\overline{\beta_{11}\omega_{2x}^{(1)}}\right\rangle+\left\{\frac{H_2}{\cos\beta_{02}}\left[1-\frac{C_2^2\sin^2\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]-\right.$$
$$\left.-\frac{R_2H_2}{A_2(\beta_{02})}\left[1-\frac{2C_2\sin^2\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\right\}\left\langle\overline{\beta_{12}\omega_{2x}^{(1)}}\right\rangle$$

Как видно, при взаимной перпендикулярности рамок гироскопов уходы по параметрам α и β все же остаются.

С учетом выражений (3), (4), формулы (7) для условий случайной качки объекта примут вид:

$$\left\langle\dot\beta\right\rangle\left(H_1\cos\beta_{01}+H_2\cos\beta_{02}\right)=\frac{1}{2}H_1\sin 2\beta_{01}\left[1-\frac{R_1\cos\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\times$$
$$\times\int_0^t S\left(\lambda_i,\mu_i,e^{-\lambda_i(t-t_1)}\right)\left(a_1\frac{\partial^6}{\partial t\partial t_1^5}+a_2\frac{\partial^5}{\partial t\partial t_1^4}+a_3\frac{\partial^4}{\partial t\partial t_1^3}+a_4\frac{\partial^3}{\partial t\partial t_1^2}+a_5\frac{\partial^2}{\partial t\partial t_1}\right)\times$$
$$\times\Phi_{11}(tt_1)dt_1+\frac{1}{2}H_2\sin 2\beta_{02}\left[1-\frac{R_2\cos\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\int_0^t S\left(\lambda_i,\mu_i,e^{-\lambda_i(t-t_1)}\right)\times$$

$$\left[D_1+\frac{R_1C_1\sin^2\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\frac{\partial^2}{\partial t_1\partial t_2}\Phi_{21}(t_1,t_2)\Bigg|_{t_1=t_2=t}+\left[D_2+\frac{R_2C_2\sin^2\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\times$$

$$\times\left(b_1\frac{\partial^6}{\partial t\partial t_1^5}+b_2\frac{\partial^5}{\partial t\partial t_1^4}+b_3\frac{\partial^4}{\partial t\partial t_1^3}+b_4\frac{\partial^3}{\partial t\partial t_1^2}+b_5\frac{\partial^2}{\partial t\partial t_1}\right)\Phi_{12}(tt_1)dt_1-$$

$$\times\frac{\partial^2}{\partial t_1\partial t_2}\Phi_{22}(t_1,t_2)\Bigg|_{t_1=t_2=t}$$

$$\langle\dot\alpha\rangle(H_1\cos\beta_{01}+H_2\cos\beta_{02})=-\frac{R_1C_1tg\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\left[1-\frac{C_1tg\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\times$$

$$\times\frac{\partial^2}{\partial t_1\partial t_2}\Big[K_{\theta\theta}(t_1,t_2)\cos^2\alpha_{01}+K_{\psi\psi}(t_1,t_2)\sin^2\alpha_{01}-$$

$$-K_{\theta\psi}(t_1,t_2)\sin 2\alpha_{01}\Big]_{t_1=t_2=t}+\frac{R_2C_2tg\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\left[1-\frac{C_2tg\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\times$$

$$\times\frac{\partial^2}{\partial t_1\partial t_2}\Big[K_{\theta\theta}(t_1,t_2)\cos^2\alpha_{02}+K_{\psi\psi}(t_1,t_2)\sin^2\alpha_{02}-$$

$$-K_{\theta\psi}(t_1,t_2)\sin 2\alpha_{02}\Big]_{t_1=t_2=t}+\left\{\frac{H_1}{\cos\beta_{01}}\left[1-\frac{C_1\sin^2\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]-\frac{R_1H_1}{A_1(\beta_{01})}\times\right.$$

$$\left.\times\left[1-\frac{2C_1\sin^2\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\right\}\int_0^t S\left(\lambda_i,\mu_i,e^{-\lambda_i(t-t_1)}\right)\times$$

$$\times\left(a_1\frac{\partial^6}{\partial t\partial t_1^5}+a_2\frac{\partial^5}{\partial t\partial t_1^4}+a_3\frac{\partial^4}{\partial t\partial t_1^3}+a_4\frac{\partial^3}{\partial t\partial t_1^2}+a_5\frac{\partial^2}{\partial t\partial t_1}\right)\Phi_{31}(tt_1)dt_1+$$

$$+\left\{\frac{H_2}{\cos\beta_{02}}\left[1-\frac{C_2\sin^2\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]-\frac{R_2H_2}{A_2(\beta_{02})}\left[1-\frac{2C_2\sin^2\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\right\}\times$$

$$\times\int_0^t S\left(\lambda_i,\mu_i,e^{-\lambda_i(t-t_1)}\right)\left(b_1\frac{\partial^6}{\partial t\partial t_1^5}+b_2\frac{\partial^5}{\partial t\partial t_1^4}+b_3\frac{\partial^4}{\partial t\partial t_1^3}+b_4\frac{\partial^3}{\partial t\partial t_1^2}+b_5\frac{\partial^2}{\partial t\partial t_1}\right)\times$$

$$\times\Phi_{32}(tt_1)dt_1-\frac{H_1^2\cos^2\beta_{01}\sin\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\left[1-\frac{R_1\cos\beta_{01}}{A_1(\beta_{01})}\right]\int_0^t S\left(\lambda_i,\mu_i,e^{-\lambda_i(t-t_1)}\right)\times$$

$$\times S\left(\lambda_i,\mu_i,e^{-\lambda_i(t-t_2)}\right)\left[a_1^2\frac{\partial^{10}}{\partial t_1^5\partial t_2^5}+a_2^2\frac{\partial^8}{\partial t_1^4\partial t_2^4}+a_3^2\frac{\partial^6}{\partial t_1^3\partial t_2^3}+a_4^2\frac{\partial^4}{\partial t_1^2\partial t_2^2}+\right.$$

$$+a_5^2\frac{\partial^2}{\partial t_1\partial t_2}+2\left(a_1a_2\frac{\partial^9}{\partial t_1^4\partial t_2^5}+a_1a_3\frac{\partial^8}{\partial t_1^3\partial t_2^5}+a_1a_4\frac{\partial^7}{\partial t_1^2\partial t_2^5}+a_1a_5\frac{\partial^6}{\partial t_1\partial t_2^5}+\right.$$

$$+a_2a_3\frac{\partial^7}{\partial t_1^4\partial t_2^3}+a_2a_4\frac{\partial^6}{\partial t_1^4\partial t_2^2}+a_2a_5\frac{\partial^5}{\partial t_1^4\partial t_2}+a_3a_4\frac{\partial^5}{\partial t_1^3\partial t_2^2}+a_3a_5\frac{\partial^4}{\partial t_1^3\partial t_2}+$$

$$\left.\left.+a_4a_5\frac{\partial^3}{\partial t_1^2\partial t_2}\right)\right]\Phi_{41}dt_1dt_2+\frac{H_2^2\cos^2\beta_{02}\sin\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\left[1-\frac{R_2\cos\beta_{02}}{A_2(\beta_{02})}\right]\times$$

$$\times\int_0^t S\left(\lambda_i,\mu_i,e^{-\lambda_i(t-t_1)}\right)S\left(\lambda_i,\mu_i,e^{-\lambda_i(t-t_2)}\right)\left[b_1^2\frac{\partial^{10}}{\partial t_1^5\partial t_2^5}+b_2^2\frac{\partial^8}{\partial t_1^4\partial t_2^4}+b_3^2\frac{\partial^6}{\partial t_1^3\partial t_2^3}+\right.$$

$$+b_4^2\frac{\partial^4}{\partial t_1^2\partial t_2^2}+b_5^2\frac{\partial^2}{\partial t_1\partial t_2}+2\left(b_1b_2\frac{\partial^9}{\partial t_1^4\partial t_2^5}+b_1b_3\frac{\partial^8}{\partial t_1^3\partial t_2^5}+b_1b_4\frac{\partial^{10}}{\partial t_1^5\partial t_2^5}+\right.$$

$$+b_1b_5\frac{\partial^6}{\partial t_1\partial t_2^5}+b_2b_3\frac{\partial^7}{\partial t_1^4\partial t_2^3}+b_2b_4\frac{\partial^6}{\partial t_1^4\partial t_2^2}+b_2b_5\frac{\partial^5}{\partial t_1^4\partial t_2}+b_3b_4\frac{\partial^5}{\partial t_1^3\partial t_2^2}+$$

$$\Phi_{1i}(t,t_1)=\Big[K_{\psi\psi}(t,t_1)-K_{\theta\theta}(t,t_1)\Big]\frac{\sin 2\alpha_{oi}}{2}+K_{\theta\psi}(t,t_1)\sin^2\alpha_{oi}-$$

$$\left.\left.+b_3b_5\frac{\partial^4}{\partial t_1^3\partial t_2}+b_4b_5\frac{\partial^3}{\partial t_1^2\partial t_2}\right)\right]\Phi_{42}dt_1dt_2$$

(8)

где

$$-K_{\psi\theta}(t,t_1)\cos^2\alpha_{oi}$$

$$\Phi_{2i}(t_1,t_2)=\Big[K_{\psi\psi}(t_1,t_2)-K_{\theta\theta}(t_1,t_2)\Big]\frac{\sin 2\alpha_{oi}}{2}-K_{\psi\theta}(t_1,t_2)\cos 2\alpha_{oi}$$

(9)

$$\Phi_{3i}(t,t_1)=K_{\theta\theta}(t,t_1)\cos^2\alpha_{oi}+K_{\psi\psi}(t,t_1)\sin^2\alpha_{oi}-\frac{1}{2}\sin 2\alpha_{oi}\times$$
$$\times\Big[K_{\theta\psi}(t,t_1)+K_{\psi\theta}(t,t_1)\Big]$$

$$\Phi_{4i}(t_1,t_2)=K_{\theta\theta}(t_1,t_2)\cos^2\alpha_{oi}+K_{\psi\psi}(t_1,t_2)\sin^2\alpha_{oi}-$$
$$-\frac{1}{2}K_{\theta\psi}(t_1,t_2)\sin 2\alpha_{oi}$$

В формулах (9) предполагается наличие свойства дифференцируемости корреляционных функций. Процесс качки принимается нестационарным.

Если же углы качки $\psi(t)$ и $\theta(t)$ и являются стационарными и стационарно связанными случайными функциями, то формулы (9) несколько упростятся:

$$\Phi_{2i}(\tau)=\Phi_{2i}(0)=\Big[K_{\psi\psi}(0)-K_{\theta\theta}(0)\Big]\frac{\sin 2\alpha_{oi}}{2}-K_{\psi\theta}(0)\cos 2\alpha_{oi}$$

;

$$\Phi_{4i}(\tau)=\Phi_{4i}(0)=K_{\theta\theta}(0)\cos^2\alpha_{oi}+K_{\psi\psi}(0)\sin^2\alpha_{oi}$$
$$-\frac{1}{2}K_{\theta\psi}(0)\sin 2\alpha_{oi} \qquad (10)$$

Формулы (8) дают возможность выделить постоянную составляющую математического ожидания угловых скоростей уходов сигналов $\alpha(t)$ и $\beta(t)$ схем мы автокомпенсации. Для этого необходимо задать три корреляционные функции $K_{\theta\theta}(t_1, t_2)$, $K_{\psi\psi}(t_1, t_2)$, $K_{\theta\psi}(t_1, t_2)$. Отсутствие корреляционной связи между качкой по углу крена и дифферента существенного влияния на величину уходов, как видно, не оказывает, в отличие от датчика угловой скорости, уходы которого полностью определяются корреляционной функцией связи. Качка по углу рыскания φ не влияет на величину уходов. Это явление укладывается в рамки принятого предположения об отсутствии сухого трения в опорах подвеса.

Выводы

Изложенное позволяет сделать вывод о достижении частичной инвариантности в схемах со структурной избыточностью. Во всяком случае по отношению к угловому движению фюзеляжа летательного аппарата.

Достижение полной инвариантности, как известно, может быть осуществимо только на основе принципа многоканальности, сформулированного В.С. Кулебакиным.

Для более эффективного использования выражения (10) можно, например, вместо заданных анали-

Литература

1. Одинцов, А.А. Экспериментальные исследования схемы автокомпенсации уходов трехстепенного гироскопа [Текст] / А.А. Одинцов, В.В. Карачун, Р.С. Жук// Вест. Киев. политех. ин-та. Приборостроение.: - Киев, КПИ. – Вып. 8, 1978. – С. 9-13.
2. Карачун, В.В. О схеме двухканальной автокомпенсации уходов трехстепенного свободного гироскопа [Текст] / В.В. Карачун // Механика гироскоп. Систем. – Респ. Междувед. научн.-техн. сб.: - Киев, КПИ. – Вып.4, 1985. – С. 35-38.
3. Автокомпенсация инструментальных погрешностей гиросистем / [Текст]: монография / С.М. Зельдович, М.И. Малтинский, И.М. Окон, Я.Г. Остромухов. – Л.: Судостроение, 1976. – 255 с.
4. Карачун, В.В. Влияние нестабильности значений параметров гироскопов двухканальных схем на погрешность курсоуказания [Текст] / В.В. Карачун, В.Н. Мельник // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. - № 3/7 (51). – С. 4-7.
5. Карачун, В.В. Гироскоп направления со структурной избыточностью [Текст] / В.В. Карачун, В.Н. Мельник // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. - № 2/7 (51). – С. 51-55.
6. Карачун, В.В. Структурная избыточность как средство повышения точности курсоуказания [Текст] / В.В. Карачун, В.Н. Мельник // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. - № 1/3 (49). – С. 52-56.

УДК 539.3

ТЕРМОУПРУГИЕ ВОЛНЫ И СКОРОСТЬ ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧЕ ВЗАИМОСВЯЗАННОЙ ТЕРМОУПРУГОСТИ

А.Д. Шамровский
Доктор технических наук, профессор*

Г.В. Меркотан
Аспирант
Контактный тел.: 066-733-98-05
E-mail: merkatan@ukr.net

*Кафедра программного обеспечения автоматизированных систем
Запорожская государственная инженерная академия
пр. Ленина, 226, Запорожье, Украина, 69000

В представленій роботі досліджується вплив температури на швидкості поширення теплової і механічної хвиль в узагальненій зв'язаній динамічної задачі термопружності для півпростору

Ключові слова: швидкість хвилі, термопружність, динамічна задача

В представленной работе исследуется влияние температуры на скорости распространения тепловой и механической волны в обобщенной связанной динамической задаче термоупругости для полупространства

Ключевые слова: скорость волны, термоупругость, динамическая задача

In the presented work is investigated the influence of temperature on thermal and mechanic waves in half-space in a generalized constrained dynamic task of thermoelasticity

Keywords: wave speed, thermoelasticity, dynamics

Рассматривается задача о распространении плоских механических и тепловых волн в полупространстве. В теории упругости известны скорости распространения тепловой и механической волн. При взаимном влиянии температурной и механической волны характер движения и скорости волн меняются вследствие взаимного их влияния друг на друга. Найдены числовые значения термоупругих волн и приведено числовое сравнение с чисто упругими скоростями распространения механической (поперечной) и тепловой (продольной) волны.

Постановка задачи термоупругости в напряжениях рассматривалась в [3], причем решение было получено методом интегральных преобразований. В представленной статье задача решается методом асимптотико-группового анализа [4].