

УДК 531.385

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОРСКИХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ С САМОНАСТРОЙКОЙ ПАРАМЕТРОВ ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА

Малютин Д.М.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Тула, Российская Федерация

При установке гравиметра на гиросtabilизированную платформу (ГСП) для уменьшения погрешностей гравитационных измерений необходимо обеспечить высокую точность стабилизации ГСП относительно горизонта и добиться близости к нулю значения косинуса сдвига фазы между горизонтальными ускорениями качки и наклонами ГСП. Эффективность выполнения этих требований в свою очередь обусловлена структурой построения ГСП [1].

Передаточная функция ГСП с предлагаемой системой коррекции (СК) по каждому каналу имеет вид $W(p) = \alpha(p) / W_z(p) = W_p(p) / (1 + gW_p(p))$, где

$$W_p(p) = \frac{k_0(T_3p+1)\left(\frac{T_4}{l}p+1\right)(T_5p+1)\left(\frac{T_7}{l_2}p+1\right)(T_8p+1)}{(T_2^2p^2+2\xi T_2p+1)(T_4p+1)(T_6p+1)(T_7p+1)(T_9p+1)p^2},$$

$\alpha(p)$ – погрешность стабилизации, W_z – горизонтальное ускорение качки, K_A – коэффициент передачи акселерометра, K_z – коэффициент передачи гироскопа по управляющему воздействию, g – ускорение силы тяжести, $T_2, T_3, K_2, T_4, l, T_5, T_6, T_7, l_2, T_8, T_9, \xi$ – параметры корректирующего устройства СК, $k_0 = K_A \cdot K_2 \cdot K_z$, сигнал с выхода акселерометра по каждому из двух каналов поступает на вход соответствующего устройства измерения спектра (УИС), в которых определяется преобладающие частоты качки ω_{k1}, ω_{k2} . Кроме того сигнал с выхода датчика угловой скорости, ось чувствительности которого перпендикулярна плоскости ГСП, поступает на вход УИС, в котором определяется преобладающая частота качки ω_{k3} . Результирующее горизонтальное ускорение, обусловленное качкой и орбитальным движением корабля, измеряемое акселерометром первого канала СК, имеет следующие составляющие первого приближения: $\ddot{\eta}$ – линейное ускорение орбитального движения центра тяжести корабля, $\upsilon\dot{\phi}$ – ускорение, обусловленное рысканием и наличием хода корабля (υ – скорость движения корабля, $\dot{\phi}$ – угловая скорость рыскания корабля), $x \cdot \ddot{\phi}$ – ускорение, обусловленное рысканием корабля (x – координата места установки прибора на корабле, $\ddot{\phi}$ – угловое ускорение рыскания корабля), $-z \cdot \ddot{\theta}$ – ускорение, обусловленное бортовой качкой корабля (z – координата места установки прибора на корабле, $\ddot{\theta}$ – угловое ускорение бортовой качки корабля). Результирующее горизонтальное ускорение, обусловленное качкой и

орбитальным движением корабля, измеряемое акселерометром второго канала системы коррекции, имеет следующие составляющие первого приближения: $\ddot{\xi}$ – линейное ускорение орбитального движения центра тяжести корабля, $-y \cdot \ddot{\phi}$ – ускорение, обусловленное рысканием корабля (y – координата места установки прибора на корабле), $z \cdot \ddot{\psi}$ – ускорение, обусловленное килевой качкой корабля (z – координата места установки прибора на корабле, $\ddot{\psi}$ – угловое ускорение килевой качки корабля). Преобладающая частота ω_{k1} результирующего горизонтального ускорения, измеряемого акселерометром первого канала системы коррекции, соответствует преобладающей частоте линейного ускорения орбитального движения центра тяжести корабля $\ddot{\eta}$ или преобладающей частоте ускорения, обусловленного бортовой качкой $-z \cdot \ddot{\theta}$. Преобладающая частота ω_{k2} горизонтального ускорения, измеряемого акселерометром второго канала СК, соответствует преобладающей частоте линейного ускорения орбитального движения центра тяжести корабля $\ddot{\xi}$ или преобладающей частоте ускорения, обусловленного килевой качкой $z \cdot \ddot{\psi}$. Преобладающая частота ω_{k3} составляющих результирующего горизонтального ускорения качки, обусловленных рысканием корабля $x \cdot \ddot{\phi}$, $-y \cdot \ddot{\phi}$ и составляющей, обусловленной рысканием и наличием хода корабля $\upsilon\dot{\phi}$ лежит в низкочастотной области и по величине значительно меньше преобладающих частот ω_{k1}, ω_{k2} . Погрешности на частоте ω_{k3} превалируют. Систематическая составляющая погрешности измерения ускорения силы тяжести из – за совместного влияния составляющей горизонтального ускорения, обусловленной рысканием корабля и наклоном ГСП в случае нерегулярной качки определяется по формуле

$$W_{z1} \overline{\alpha_1} = \int_{-\infty}^{+\infty} \text{Re} W(j\omega) S_{w_{z1}}(\omega) d\omega. \quad (1)$$

Спектральная плотность (СП) горизонтального ускорения, обусловленного рысканием корабля имеет вид

$$S_{w_{z1}}(\omega) = \frac{2A_\phi \mu_\phi x^2}{\pi} \frac{b_\phi^2 \omega^4}{\omega^4 + 2a_\phi \omega^2 + b_\phi^4}, \quad (2)$$

где A_ϕ – дисперсия углов рыскания, μ_ϕ – коэффициент нерегулярности, $b_\phi^2 = \mu_\phi^2 + \omega_{k3}^2$,

$a_\varphi = \mu_\varphi^2 - \omega_{k3}^2$. Систематическая составляющая погрешности измерения ускорения силы тяжести из – за совместного влияния составляющей горизонтального ускорения, обусловленной рысканием и наличием хода корабля и наклоном ГСП определяется по формуле

$$W_{\alpha_2} = \int_{-\infty}^{+\infty} \text{Re}W(j\omega)S_{w_{z2}}(\omega)d\omega. \quad (3)$$

СП горизонтального ускорения, обусловленного рысканием и наличием хода корабля имеет вид

$$S_{w_{z2}}(\omega) = \frac{2A_\varphi\mu_\varphi v^2}{\pi} \frac{b_\varphi^2 \omega^2}{\omega^4 + 2a_\varphi \omega^2 + b_\varphi^4}, \quad (4)$$

где v – скорость хода корабля. При числовых значениях параметров каналов предлагаемого устройства СК $k_0 = 1,3 \cdot 10^{-5}$, $\xi = 0,707$, $T_3 = 150$, $T_2 = 17$ и параметрах $T_4 = 7,033528662$, $l = 2,160922022$, $T_5 = 1,083643444$, $T_6 = 0,922812762$, $T_7 = 4,941269339$, $l_2 = 1,066521529$, $T_8 = 1,012982185$, $T_9 = 0,987184193$, которые определены на основании критериев самонастройки (5)–(8), значение ФЧХ передаточной функции ГСП становится не только точно равным -270° на частотах ω_{k1}, ω_{k2} , но и с высокой точностью стремится к -270° на частоте качки ω_{k3} в отличии от ГСП, рассмотренной в работе [2].

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta Q_1 &= -90^\circ + \text{arctg}(T_3\omega_{k3}) - \text{arctg}\left(\frac{2\xi T_2\omega_{k3}}{1-(T_2\omega_{k3})^2}\right) - \\ l &= \frac{1 + \sin|\Delta Q_1|}{1 - \sin|\Delta Q_1|}, T_4 = \frac{1}{\omega_{k3}}\sqrt{l}. \end{aligned} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta Q_2 &= -90^\circ + \text{arctg}(T_3\omega_{k1}) - \text{arctg}\left(\frac{2\xi T_2\omega_{k1}}{1-(T_2\omega_{k1})^2}\right) - \\ &- \text{arctg}(T_4\omega_{k1}) + \text{arctg}\left(\frac{T_4}{l}\omega_{k1}\right) \\ l_1 &= \frac{1 + \sin|\Delta Q_2|}{1 - \sin|\Delta Q_2|}, T_5 = \frac{1}{\omega_{k1}}\sqrt{l_1}, T_6 = \frac{T_5}{l_1}. \end{aligned} \right. \quad (6)$$

УДК 681.3

КОМПЬЮТЕРНАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА МУЗЫКАЛЬНО-АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

Пономарева Н.В.

*Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация*

Методы и алгоритмы компьютерной (цифровой) обработки различного рода сигналов – (ЦОС) (*Digital Signal Processing – DSP*) играют важнейшую роль в информационных (компьютерных) технологиях (ИТ) (*Information Technology – IT*), в том числе и в компьютерных музыкальных технологиях.

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta Q_3 &= -90^\circ + \text{arctg}(T_3\omega_{k3}) - \text{arctg}\left(\frac{2\xi T_2\omega_{k3}}{1-(T_2\omega_{k3})^2}\right) - \\ &- \text{arctg}(T_4\omega_{k3}) + \text{arctg}\left(\frac{T_4}{l}\omega_{k3}\right) - \text{arctg}(T_6\omega_{k3}) + \\ &+ \text{arctg}(T_5\omega_{k3}), l_2 = \frac{1 + \sin|\Delta Q_3|}{1 - \sin|\Delta Q_3|}, T_7 = \frac{1}{\omega_{k1}}\sqrt{l_2}. \end{aligned} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta Q_4 &= -90^\circ + \text{arctg}(T_3\omega_{k1}) - \text{arctg}\left(\frac{2\xi T_2\omega_{k1}}{1-(T_2\omega_{k1})^2}\right) - \\ &- \text{arctg}(T_4\omega_{k1}) + \text{arctg}\left(\frac{T_4}{l}\omega_{k1}\right) - \text{arctg}(T_6\omega_{k1}) + \\ &+ \text{arctg}(T_5\omega_{k1}) - \text{arctg}(T_7\omega_{k1}) + \text{arctg}\left(\frac{T_7}{l_2}\omega_{k1}\right) \\ l_3 &= \frac{1 + \sin|\Delta Q_4|}{1 - \sin|\Delta Q_4|}, T_8 = \frac{1}{\omega_{k1}}\sqrt{l_3}, T_9 = \frac{T_8}{l_3}. \end{aligned} \right. \quad (8)$$

При $\omega_{k1} = 1c^{-1}$, $\omega_{k3} = 0,209c^{-1}$ (и для значений параметров СП горизонтального ускорения $A_\varphi = 0,000847 \text{ рад}^2$, $\mu_\varphi = 0,03c^{-1}$, $x = 10\text{м}$, $v = 10\text{м/с}$) погрешности составили $W_{\alpha_1} = -0,000337$ мГал, $W_{\alpha_2} = -0,058$ мГал. Таким образом, реализация предложенной в работе СК, позволяет обеспечить повышенную точность измерения ускорения силы тяжести.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Грант №17-08-00434 А.

1. Ривкин С.С., Береза А.Д. Гироскопическая стабилизация морских гравиметров. – М.: Наука, 1985. – 176 с.
2. Малютин Д.М. Расповов В.Я. Исследование динамики гиросtabilизатора морского гравиметра с самонастройкой параметров. – Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып.7., 2017. – С. 97–105.