

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 гиросtabilизи-рованную 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

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

$\alpha(p)$ – 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].

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

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

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

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

При $\omega_{k1} = 1c^{-1}$, $\omega_{k3} = 0,209c^{-1}$ (и для значений параметров СП горизонтального ускорения $A_\varphi = 0,000847 rad^2$, $\mu_\varphi = 0,03c^{-1}$, $x = 10m$, $v = 10m/c$) 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. Распопов В.Я. Исследование динамики гиросtabilизатора морского гравиметра с самонастройкой параметров. – Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып.7., 2017. – С. 97–105.

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.

Приоритетное место ЦОС при решении задач обработки информации об исследуемых объектах (системах), связано с тем, что именно методы и алгоритмы ЦОС позволяют получить информацию о свойствах и состояниях исследуемых объектов, о процессах и явлениях, происходящих в них. С помощью потоков информации, (в том