

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ
ВІБРАЦІЙНОЇ ПОХИБКИ МАЯТНИКОВИХ
КОМПЕНСАЦІЙНИХ НАВІГАЦІЙНИХ
АКСЕЛЕРОМЕТРІВ**

Черняк М.Г., Терьохін С.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

Навігаційні маятникові компенсаційні акселерометри (МКА) є датчиками первинної інформації практично всіх сучасних інерціальних навігаційних систем (ІНС) та бортових систем орієнтації (БСО). Під час польоту, крім прискорення літального апарату (ЛА), яке є величиною яку необхідно виміряти, на акселерометр діють вібраційні збурення (як детерміновані так і випадкові).

Інструментальною вібраційною похибкою (ВП) називають додаткову систематичну похибку МКА, джерелами якої є автоколивання та вібрації основи, на яку його встановлено [1,2]. Через те, що акселерометр є неідеальним, а його функція перетворення – нелінійною, то, за наявності на вході МКА вібрацій, на нелінійностях його ФП детектується систематична складова, яка і є вібраційною похибкою. У випадку кубічної моделі ФП МКА, яка наведена в статтях [3,4], математична модель його вібраційної похибки має наступний вигляд:

$$\Delta a_{ВП}^D = 0,637\delta_{1A}a_{B3} + 0,5k_2a_{B3}^2 + 0,5a_{B3}a_{B1}m_{31} +$$

$$+ 0,5a_{B3}a_{B2}m_{32} + 1,5k_3a_{B3}^2a_{Л3}; \quad (1)$$

$$\Delta a_{ВП}^B = \frac{1}{8}\delta_{1A}\sqrt{S_{B3j}\Delta f_j} + k_2S_{B3}\Delta f + m_{31}S_{B3}\Delta f +$$

$$+ m_{32}S_{B3}\Delta f + 3k_3S_{B3}\Delta f a_{Л3}, \quad (2)$$

де: $\Delta a_{ВП}^D, \Delta a_{ВП}^B$ - додаткова вібраційна похибка МКА при дії на нього, відповідно, детермінованих і випадкових вібрацій; $a_{Л1}, a_{Л2}, a_{Л3}$ - проєкції уявного прискорення об'єкту на осі акселерометра; a_{B1}, a_{B2}, a_{B3} - амплітуди детермінованих вібраційних прискорень, що діють по відповідним осям акселерометра; S_{B3} - спектральна щільність ширококутної випадкової вібрації; Δf - частотний діапазон ширококутної випадкової вібрації; k_2, k_3 - коефіцієнти нелінійності ФП МКА; δ_{1A} - коефіцієнт асиметрії коефіцієнту перетворення МКА; m_{31}, m_{32} - коефіцієнти мультиплікативної перехресної чутливості МКА.

Для оцінки впливу ВП на точність МКА наведемо параметри вібрацій на етапі автономного польоту ЛА. Згідно ГОСТ 20.39.304-98 типова амплітуда детермінованих вібраційних прискорень становить 0,42g на частоті 8-16 Гц, а спектральна щільність випадкових вібрацій – 0,120 [g²/Гц] на частотах 320-640 Гц. При цьому типові параметри ФП МКА (на прикладі акселерометра АЛ-1) які входять до моделі ВП мають наступні значення:

$k_2 = 40 \mu\text{g}/\text{g}^2$,
 $k_3 = 40 \mu\text{g}/\text{g}^3$, $m_{31} = m_{32} = 10 \mu\text{g}/\text{g}^2$, δ_{1A} - не більше 100ppm.
Знаючи ці параметри можна провести оцінку додаткової вібраційної похибки МКА при дії на нього детермінованих і випадкових вібрацій за формулами (1-

2). Отримані значення оцінок наведемо в табл.1 та 2 відповідно.

Таблиця 1. Числові значення оцінок ВП МКА в умовах впливу на нього детермінованої вібрації

Акселерометр	
Вібраційні похибки	АЛ-1
Додаткова похибка зміщення нуля, μg	20
Додаткова відносна похибка коефіцієнта перетворення, %	0,02
Сумарна додаткова вібраційна похибка, mg	1,5

Таблиця 2. Числові значення оцінок ВП МКА в умовах впливу на нього випадкової вібрації

Акселерометр	
Вібраційні похибки	АЛ-1
Додаткова похибка зміщення нуля, μg	19000
Додаткова відносна похибка коефіцієнта перетворення, %	1,7
Сумарна додаткова вібраційна похибка, mg	762

В той же час вимоги до точності навігаційного МКА наступні: допустима похибка зміщення нуля акселерометра не повинна перевищувати 50mg, а відносна похибка коефіцієнта перетворення - 50ppm.

Як видно, розраховані за моделлю (1) оцінки інструментальних ВП МКА показали, що ВП значно погіршує точність МКА в польоті, тому необхідно досліджувати шляхи боротьби з ними як для готових вже акселерометрів так і на етапі конструювання нових акселерометрів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Коновалов С.Ф. Теория виброустойчивости акселерометров. – М.: Машиностроение. - 1993. – 272с.
2. Черняк Н.Г. Математична модель методичних вібраційних похибок маятникового компенсаційного акселерометра з пружним підвісом чутливого елемента. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». - 2008. - №2. – С. 81-88.
3. Черняк Н.Г., Хазинедарлу Э. Калибровка навигационного маятникового акселерометра методом тестовых поворотов в гравитационном поле Земли// Механика гіроскопічних систем. – Наук.-техн. збірник. – Київ. - 2009. - Вип. 20. - С.81-91.
4. Chernyak N.G., Rybak V.V., Terokhin S.V. Instrumental errors of navigation accelerometer nonlinear metrological model's coefficients identification by test-positioning method in terrestrial gravitational field. // Інформаційні системи, механіка та керування – Київ, 2014. - №11. - С.92-1.