УДК 629.78

ЗВЯГИНЦЕВ О.К., ***УСПЕНСКИЙ В.Б.,*** канд. техн. наук

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ПАСПОРТИЗАЦИИ СБОРКИ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

На современном этапе развития конструкций летательных аппаратов проявляется тенденция микроминиатюризации конструкций отдельных компонентов таких систем, в том числе и приборов первичной информации – акселерометров, двухстепенных и трехстепенных гироскопов, при сохранении и последующем увеличении точности и надежности.

Цель работы - исследование погрешностей микроакселерометра, что позволит построить модель погрешностей и их алгоритмически компенсировать, благодаря чему повысится точность измерений.

Для исследования был выбран интегральный микроакселерометр фирмы Analog Device ADXL203. Оцифровка сигнала акселерометра происходит с помощью аналого-цифрового преобразователя ads1100.

Для того, что бы паспортизовать акселерометр в имеющихся условиях (не используя специальные стенды для паспортизации), предлагается ввести следующую математическую модель.

Будем считать, что при измерении возникают следующие ошибки:

$\Delta\alpha_1$ - ошибка, обусловленная непараллельностью граней кубика, на котором установлены датчики, $\Delta\alpha_2$ - ошибка, вызванная неточностью выставки осей акселерометра, δa - дрейф нуля, dk - ошибка определения масштабного коэффициента.

Тогда, имея определенное количество измерений – можно получить систему для определения инструментальных ошибок

$$g\cdot\cos(\alpha_i)\cdot\Delta\alpha_1 + g\cdot\cos(\alpha_i)\cdot\Delta\alpha_2 + \delta a - \frac{g\cdot\sin(\alpha_i)}{k_0}\cdot(dk) = N_i^+\cdot k_0 - g\cdot\sin(\alpha_i) \qquad (1)$$

Систему (1) предлагается решить с помощью МНК.

Эффективность данной методики была проверена с помощью моделирования. Была рассмотрена следующая модель измерений

$N_i^+ = \dfrac{g \cdot \sin(\alpha_i + \Delta\alpha) + \delta a}{k_0 + \delta k}$ - с помощью этой формулы подыгрывается соответствующее значение информации с датчика в различных угловых положениях. Ошибки $\Delta\alpha = \Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2$, δa, δk изменяются на несколько процентов, в сравнении с значениями, принятыми в качестве эталонных.

С помощью проверки было установлено, что решение, получаемое с помощью данной методики устойчиво в случае наличия 90 и более различных измерений.

В ходе проверки методики с помощью экспериментальных данных было проведено четыре эксперимента, для проверки повторяемости результатов. Для каждого эксперимента были получены различные измерения, соответствовавшие различным уровням входных сигналов от 0 до g шагом $0.0175g$. Найденные погрешности повторяются от запуска к запуску.

Получены следующие значения погрешностей для различных осей чувствительности акселерометров: $\delta a_1^{\max} = 0.402\frac{\grave{\imath}}{\tilde{n}^2}$, $\delta a_2^{\max} = 0.142\frac{\grave{\imath}}{\tilde{n}^2}$, $\delta a_3^{\max} = 0.035\frac{\grave{\imath}}{\tilde{n}^2}$. Масштабный коэффициент составляет $k_0 = 0.00769$, ошибка масштабного коэффициента $dk_1 = 9.2\text{Å-}6$, $dk_2 = 3.14\text{Å-}6$, $dk_3 = 4.1\text{Å-}6$. α_1 =0.95°, α_2 =2.39°, α_3=-1.46°

Полученные результаты представляют собой максимальные погрешности, и при конкретной реализации могут быть меньше.

Из полученных результатов видно, что каждая ось чувствительности акселерометра позволяет получать измерение с разной мерой точности. Существует задача расположения ОЧ в пространстве с целью минимизации погрешности измерения.

Измерения вектора ускорения вдоль ОЧ с учетом погрешности можно представить в виде $a_i = a_x \cos\alpha_i \sin\theta_i + a_y \cos\theta_i + a_z \sin\alpha_i \sin\theta_i + \delta a_i$

Пусть алгоритм получения оценки вектора ускорения по измерениям строится на основе метода наименьших квадратов. Тогда проекции вектора ускорения на базовые оси можно представить в виде $\begin{bmatrix} \hat{a}_x \\ \hat{a}_y \\ \hat{a}_z \end{bmatrix} = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot \begin{bmatrix} a_1 + \delta a_1 \\ a_2 + \delta a_2 \\ a_3 + \delta a_3 \\ a_4 + \delta a_4 \end{bmatrix}$, а погрешности измерения в виде $d\hat{a} = A^+(\alpha, \theta) \cdot \delta\overline{a}$.

Задача минимизации погрешности сводится к минимизации $d\hat{a}$

Численно найденная оптимальная конфигурация ОЧ, представлена углами между ОЧ и базовой осью Oy и между проекцией ОЧ на плоскость Oxz и базовой осью Ox. Для первой оси (66°,86°), для второй оси (-24°,86), для третьей оси (1°,6°) и для четвертой (-130°,86°). Такая конфигурация является технологически сложной, предлагается использовать наиболее эффективную из технологически простых схем. В частности в виде расположения ОЧ по осям базового ортогонального триедра OxOyOzOx, при этом ошибка составляет 0.3315 $\frac{\grave{\imath}}{\tilde{n}^{2}}$ (проигрыш по отношению к глобально оптимальному решению 142 %).