

Е.О. ЗАПЛАВСКИЙ, М.В. НЕКРАСОВА

**Разработка и исследование метода стендовой калибровки
акселерометрического измерительного модуля**

В настоящее время для решения задач наведения, навигации и управления движущимися объектами все более широкое применение находят акселерометрические измерительные модули (АИМ), построенные на недорогих датчиках низкого и среднего класса точности, например, микромеханических акселерометрах. К сожалению, вопросы калибровки и эффективного использования таких систем до настоящего времени разработаны не достаточно полно. Однако для эффективности такой оценки необходимо достаточно точно знать расположение акселерометра (АК) внутри модуля, включая ориентацию их осей чувствительности, поскольку технология сборки инерциальных модулей на микромеханических датчиках не позволяет обеспечить желаемое направление осей чувствительности АК точнее 1° [1].

В данной работе рассматривается задача определения в лабораторных условиях систематических погрешностей акселерометрического измерительного модуля с целью их дальнейшей алгоритмической компенсации или, другими словами, задача калибровки. Методы стендовой калибровки инерциальных модулей вообще и блока акселерометров, в частности, рассматриваются в [1, 2]. Однако задача определения местоположения АК в модуле остается не решенной.

Свяжем с АИМ правую ортогональную систему координат (СК), называемую базовой системой координат, и зададим расположение акселерометра в ней неизменным радиус-вектором $\bar{\rho}$, а направление оси чувствительности АК единичным вектором $\bar{e} = (\sin\lambda \cdot \cos\mu; \cos\lambda; \sin\lambda \cdot \sin\mu)$ (рис. 1).

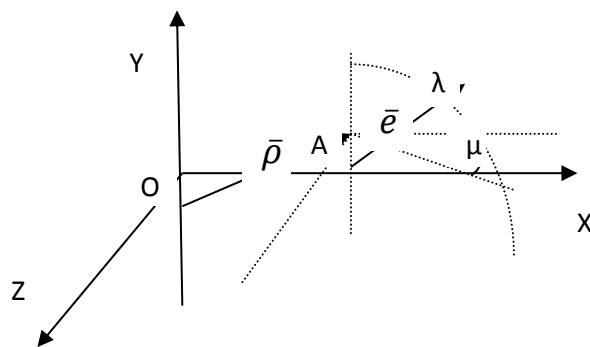


Рис. 1 – положение акселерометра в СК

Примем во внимание, что фактическое расположение АК в базовой СК отличается от номинального, и обозначим фактический радиус-вектор и фактическое направление оси чувствительности следующим образом:

$$\bar{\rho}^* = \bar{\rho} + \bar{\delta\rho} \quad (1)$$

$$\bar{e}^* = (\sin(\lambda + \delta\lambda) \cdot \cos(\mu + \delta\mu); \cos(\lambda + \delta\lambda); \sin(\lambda + \delta\lambda) \cdot \sin(\mu + \delta\mu)) \quad (2)$$

Таким образом, данная задача сводится к определению смещение нуля и погрешности установки АК в модуле $\bar{\delta\rho}$, $\delta\lambda$, $\delta\mu$.

Для калибровки АИМ предлагается использовать трехосный поворотный стенд. Такой стенд способен совершать вращательные движения вокруг трех осей с задаваемой угловой скоростью и, соответственно, угловым ускорением. Значения параметров движения стенда считаются точными и принимаются в качестве эталонных. Для построения модели движения такого стенда и генерации эталонных значений угловой скорости и углового ускорения использовалась кватернионная кинематическая модель ортогонального типа [3].

Анализ информативности тестового движения по критерию степени обусловленности матрицы метода наименьших квадратов показал, что постоянная угловая скорость по всем трем осям стенда не обеспечивает получения достоверной оценки искомых параметров. В этих условиях предлагается задавать относительно внешней оси стенда периодическое движение с амплитудой α_0 и круговой частотой ν вида $\alpha(t) = \alpha_0 \sin(\nu t)$. По двум другим осям достаточно создавать вращение с постоянной угловой скоростью: $\beta(t) = \beta_0 t$, $\gamma(t) = \gamma_0 t$.

Исходя из полученных результатов моделирования, можно сделать вывод, что погрешность калибровки АК в рассматриваемых условиях не превышает 10^{-5} м по каждой компоненте радиус-вектора положения АК, параметры несоосности измерительных осей и осей базовой СК определены с ошибкой до 2 угл. с, погрешность определения смещения нуля – не более 10^{-6} м/с².

В данной работе показана принципиальная возможность определения параметров блока акселерометров на трехосном поворотном стенде при произвольном расположении акселерометров. Результаты моделирования подтверждают эффективность разработанного метода калибровки акселерометрического измерительного модуля.

Список литературы:

1. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы / В. В. Мелешко, О. И. Нестеренко. – Кировоград: Полимед-Сервис, 2011. – 172 с.
2. Krohn A. Inexpensive and Automatic Calibration for Acceleration Sensors / A. Krohn, M. Beigl, Ch. Decker, U. Kochendorfer, Ph. Robinson, T. Zimmer // Universitat Karlsruhe, 2004. <http://www.teco.edu/~krohn/krohnaccl.pdf>.
3. Успенский В. Б. Теоретические основы гидросилового управления ориентацией космического летательного аппарата. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2006. – С. 327.