

## ТАРИРОВКА ДАТЧИКА УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ

Мельниченко Н. Н., Вихрова Л. Г., Осадчий С. И.

*Кировоградский национальный технический университет*

*Предложена методика калибровки датчика угловых скоростей, который в дальнейшем успешно использован при исследовании динамики станка-гексапода.*

**Постановка проблемы.** За последние несколько лет широкое распространение по всему миру получили гироскопы, основанные на микроэлектромеханических системах, так называемых МЭМС. Популярность данных устройств обусловлена рядом основными из которых являются простота их использования, относительно низкая цена и малые габариты. МЭМС-гироскопы, как правило, оснащаются интегрированной электроникой обработки сигнала. Этим обуславливается их высокая надежность и способность обеспечивать стабильные показания в достаточно жестких условиях окружающей среды (перепады температур, удары, влажность, вибрация, электромагнитные и высокочастотные помехи). Совокупность данных преимуществ побуждает использование МЭМС-гироскопов в различных сферах, в том числе и при разработке систем управления движением в робототехнике.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Анализ последних публикаций посвященных MEMS гироскопам [1,2,3] показал, что, в большинстве работ изложены лишь общие подходы к решению задачи тарировки датчиков угловых скоростей.

**Цель статьи.** Как правило, гироскопы даже одной модели имеют разную погрешность и чувствительность и каждый из них нуждается в тарировке перед использованием. В этой статье мы и рассматриваем эффективный метод калибровки датчика угловой скорости, который был применен авторами для исследования прибора модели MPU-6050.

**Основные материалы исследования.** Рассмотрим модель измерений датчика угловой скорости. Для трёхосного датчика угловой скорости (ДУС) ее можно записать в общем виде[4]

$$\omega = \alpha(\xi - \beta(T)) \quad (1)$$

где  $\omega$  – это вектор угловой скорости в системе координат, связанной с ДУС,  $\xi$  – вектор выходных полезных значений ДУСа,  $\alpha$  – калибровочная матрица, переводящая единицы выходных значений датчика в единицы  $^{\circ}/c$ ,  $\beta(T)$  – вектор смещения нуля измерений в единицах выходных значений ДУСа,  $T$  – температура окружающей среды в  $^{\circ}C$ .

Таким образом, предполагаем, что калибровочные коэффициенты зависят только от температуры и при постоянной температуре угловая скорость зависит линейно от выходных значений.

Рассмотрим одноосный датчик угловой скорости MPU-6050. Как изображено на рис. 1. Ось чувствительности датчика направлена под углом  $90^{\circ}$  к плоско-

сти верхней крышки ДУСа. Положительное направление вращения совпадает с направлением вращения часовой стрелки при наблюдении со стороны направления оси  $O_s Z_s$ . Направление осей  $O_s X_s Y_s Z_s$  связанной с датчиком.

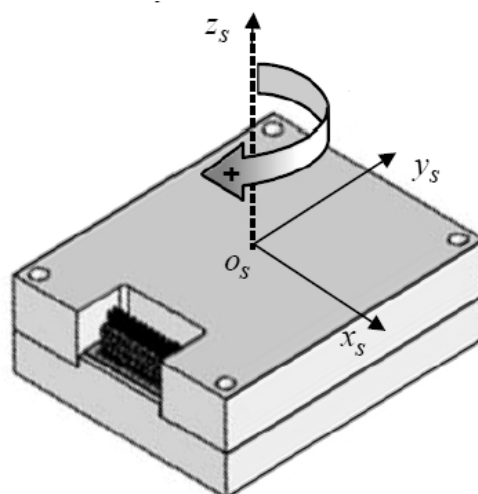


Рисунок 1- ДУС MPU-6050 и связанная с ним система координат

Для одноосного датчика выражение (1) преобразуется следующим образом:

$$\omega = \alpha(\xi - \beta(T)). \quad (2)$$

Здесь скалярные величины  $\omega$ ,  $\xi$ ,  $\beta$  имеют тот же смысл, что и аналогичные векторные величины в (1), а матрица коэффициентов  $\alpha$  выродилась в скалярный коэффициент.

#### *Зависимость смещения нуля от температуры*

Для построения зависимости смещения нуля ДУСа от температуры предлагается следующая методика. Сначала ДУС охлаждается до отрицательной температуры в пределах рабочего диапазона. Затем ДУС помещается на неподвижную платформу при комнатных условиях. Далее с ДУСа снимаются выходные значения и значения температуры датчика до тех пор, пока температура датчика не стабилизируется. Выходные значения ДУСа обрабатываются с помощью фильтра Калмана с целью уменьшения шума измерений. По полученным данным с помощью метода наименьших квадратов строится аппроксимирующая

кривая, определяется среднеквадратичная ошибка определения смещения ноля ДУСа.

#### Определение коэффициента пропорциональности

Для определения зависимости коэффициента пропорциональности между выходными значениями (машинным кодом) и угловой скоростью ДУСа предлагается следующая методика. ДУС помещается на поворотный стол. Один поворот движущего вала на  $360^\circ$  равен  $9^\circ$  поворота стола. Так как поворот вала производится с точностью  $\pm 1$ , то точность поворота стола равна  $9^\circ / 360^\circ = 0.033^\circ$ .

Поворот ДУСа на угол можно вычислить интегрированием выходной угловой скорости  $\varphi = \int \omega dt$ . Но, так как угловая скорость известна только в дискретные моменты времени, то, учитывая (2), можно записать

$$\varphi = \sum_i^N \omega_i \Delta t = \sum_i^N \alpha \xi_i \Delta t - \sum_i^N \alpha \beta_i \Delta t - \sum_i^N \alpha \varepsilon_i \Delta t, \quad (3)$$

где  $N$  - число измерений,  $\Delta t$  - интервал между измерениями,  $\varepsilon_i = \hat{\xi}_i - \beta_i$  - локальная разница между заданным смещением ноля и выходными значениями датчика в состоянии покоя. В случае малой неточности знания смещения ноля  $\beta_i$  слагаемое  $\varepsilon_i$  приводит к дрейфу угла  $\varphi$  при интегрировании выходных значений датчика в состоянии покоя.

Для нахождения локального среднего  $\bar{\varepsilon}$  ДУС помещается на неподвижную опору и в течении некоторого времени снимаются значения  $\varepsilon_i$ , после чего находится и среднее их по формуле

$$\bar{\varepsilon}_i = \frac{\sum_i^N \varepsilon_i}{N}. \quad (4)$$

Теперь найдем калибровочный коэффициент из (3), предполагая, что  $\alpha = const$  на интервале измерения и получим

$$\alpha = \frac{\varphi}{\sum_i^N \xi_i \Delta t - \sum_i^N \beta_i \Delta t - \sum_i^N \bar{\varepsilon} \Delta t}. \quad (5)$$

Таким образом, снимая показания ДУСа при повороте стола, вычисляем коэффициент пропорциональности.

**Выводы.** Вышеописанный метод был успешно применен на практике с использованием трех осевого стенда со встроенным эталонным датчиком угла и калибруемым МЭМС-гироскопом модели MPU-6050 (рис. 2).

Поворот платформы осуществлялся с помощью трех шаговых двигателей, драйвера шаговых двигателей, блока управления и персонального компьютера, снятие показаний с гироскопов осуществлялось благодаря микроконтроллеру ATmega328 и персонального компьютера.

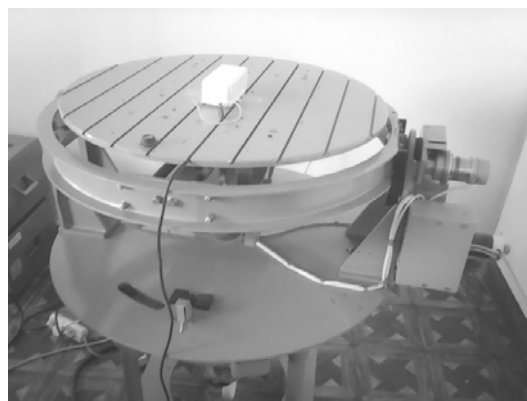


Рисунок 2 - Трех-осевой стенд с установленным калибруемым гироскопом

Калибруемый МЭМС-гироскоп будет использован при разработке автоматизированной системы навигации рабочего органа станка-гексапода.

#### Список использованных источников.

1. Николаев С. Г. Калибровка БИНС с использованием моделей ошибок системы // С. Г. Николаев – Гироскопия и навигация. – 2006 - №4 – с. 90-91
2. Щипицин А. Г. Обработка информации в инерциальных навигационных системах: монография. / А. Г.Щипицин – Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1995 - 339 С.
3. Алгоритмы калибровки платформенной инерциальной навигационной системы // Голиков В. П. и др. – Гироскопия и навигация. -2006. - № 4 - с. 89
4. Иванов Д. С. Калибровка датчиков для определения ориентации малого космического аппарата // Иванов Д. С., Ткачев С. С., Карпенко С. О., Овчинников С. Ю. – ИПМ им. М. В. Келдышева. 2010. № 28. 30 С.

#### Анотація

#### КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКА КУТОВИХ ШВИДКОСТЕЙ

Мельніченко М. М. Віхрова Л. Г., Осадчий С. І.

*Запропоновано методику калібрування датчика кутових швидкостей, який надалі успішно використаний при дослідженні динаміки верстата- гексапод.*

#### Abstract

#### CALIBRATION ANGULAR VELOCITY SENSOR

M. Melnichenko, L. Vihrova, S. Osadchy

*A method for calibrating an angular velocity sensor, which later successfully used in the study of the dynamics of the machine – hexapod.*