

На основе полученного графика, можно прийти к выводу, что разработанная программа на микроконтроллерах Atmega16 можно применить для регулирования скорости вращения и позволять выбирать характер режима разгона бесконтактного двигателя постоянного тока.

### **Список информационных источников**

1. Буй Дык Бьен. Пусковой режим микродвигателя-маховика // Современные техника и технологии: сборник трудов XXI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 249-251

2. Буй Дык Бьен, Полюшко Д. А. Экспериментальное определение характеристик микродвигателя-маховика. // Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов в 9 ч. / под ред. доц. Е.Г. Гуровой. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – Часть 5. С. 80-82.

3. Буй Дык Бьен. Система управления бесконтактными двигателями постоянного тока. // Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум 2016» – режим доступа: <http://scienceforum.ru/2016/1552/22413>

3. Буй Дык Бьен. Реализация дискретного ПИД-регулятора на 8-разрядных микроконтроллерах Atmel AVR. // Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016.

### **ОБ УМЕНЬШЕНИИ ПОГРЕШНОСТИ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ МОДУЛЕЙ MPU- 6050 И HMC5883L**

*Вьонг Суан Чьен*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Гормаков А.Н., к. т. н., доцент кафедры точного приборостроения*

**Аннотация:** В данной работе рассмотрены пути уменьшения погрешностей инерциальных датчиков на базе модулей MPU- 6050 (акселерометр и гироскоп) и HMC5883L(магнитометр).

**Ключевые слова:** Погрешность измерения инерциальных датчиков, калибровка, метод уменьшения шумов.

Повышение точности и стабильности измерительных сигналов инерциальных датчиков является актуальной проблемой для приборов и систем ориентации, стабилизации и навигации. Для обеспечения точности измерений применяют различные методы обработки сигнала с датчиков.

Погрешность датчика составит из смещения нуля, ошибки коэффициента масштаба и шума (рис. 1) [1].

Для уменьшения ошибок нужна калибровка датчика и фильтрация измерительного сигнала.

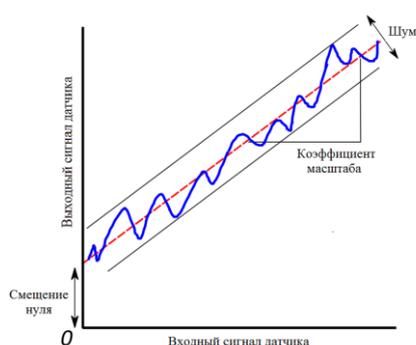


Рисунок 1. Общий вид выходного сигнала MPU-6050

В процессе экспериментальных исследований ИСО, она была выставлена в плоскость горизонта. За определенный интервал времени было получено по 100 значений сигналов с гироскопа и акселерометра датчика MPU-6050 и определены средние значения измерительных сигналов с этих датчиков. Вычитая среднее значение измерительного сигнала из фактического значения можно получить значение смещения нуля характеристики. Это значение является смещением нуля сигналов гироскопа и акселерометра модуля MPU. Для уменьшения шумов можно использовать фильтр низких частот. Результаты экспериментальных исследований датчиков модуля MPU-6050 показаны на рисунках 3 и 4.

Экспериментальный образец инерциальной системы ориентации (ИСО) (рис. 2) построен на базе модуля MPU-6050 (1), модуля HMC5883L (2) и arduino uno R3.

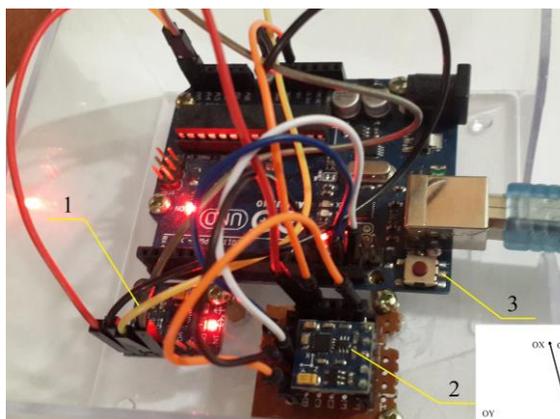


Рисунок 2. Экспериментальный образец инерциальной системы ориентации:  
1- модуль MPU- 6050 , 2- модуль HMC5883L и 3- arduino uno R3.

Первичный сигнал акселерометра



а)

Сигнал акселерометра без смещения нуля



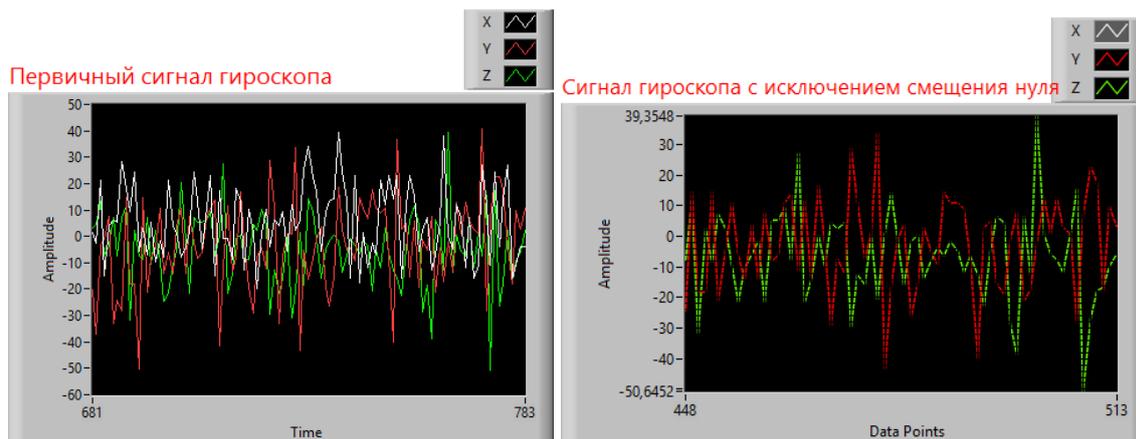
б)

Сигнал акселерометра без смещения нуля и шума



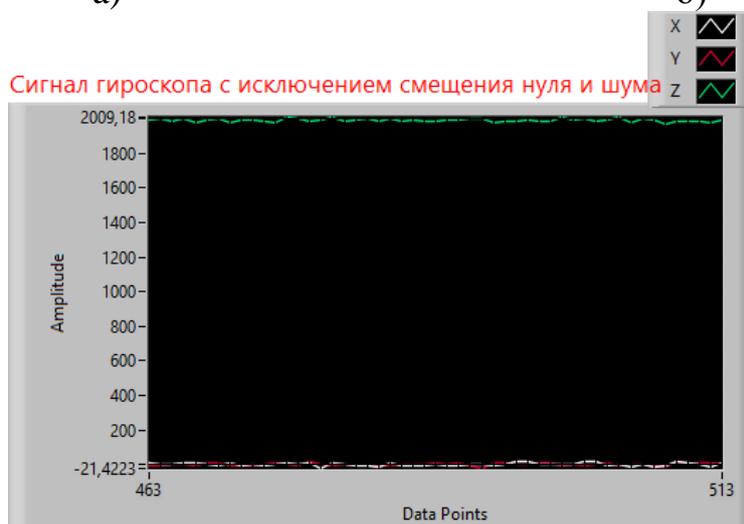
в)

Рисунок 3. Сигналы акселерометров модуля MPU-6050:  
а) первичный сигнал; б) сигнал без смещения нуля;  
в) сигнал без смещения нуля и шума



а)

б)



в)

Рисунок 4. Сигналы с гироскопов модуля MPU-6050:  
 а) первичный сигнал; б) сигнал с исключением смещения нуля;  
 в) сигнал с исключением смещения нуля и шума.

Для калибровки магнитометра применена программа мастера [2]. Магнитометр закрепил на грани куба. Грань куба с магнитометром может быть установлена перпендикулярно к каждой оси трехгранника OXYZ. (рис. 5). После установки магнитометра в позицию 1 нажать кнопку, соответствующую этому направлению на экране монитора (рис. 6). Прodelать эту операцию для всех остальных позиций до позиции 12 включительно. После заполнения всех окон таблицы нажать кнопку "Рассчитать преобразования" и получить требуемую матрицу и смещения (рис.6).

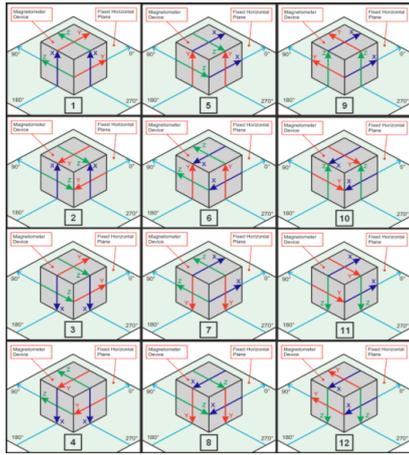


Рисунок 5. Ориентация магнитометра относительно опорной системы координат: 1,2,3....12 позиции ориентации



Рисунок 6. Таблица для определения значений матрицы и смещения нуля магнитометра

Обработка результатов измерений магнитометра осуществляется по выражению

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \times \left( \begin{bmatrix} X_{nc} \\ Y_{nc} \\ Z_{nc} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{bmatrix} \right)$$

где  $X_c, Y_c, Z_c$  - значение сигналов магнитометра по осям X, Y, Z после калибровки;

$M_{11}, \dots, M_{33}$  - значения элементов матрицы;

$X_{nc}, Y_{nc}, Z_{nc}$  - значение сигналов магнитометра без калибровки;

$B_x, B_y, B_z$  - значения смещения сигнала магнитометра;

Результаты расчета сигнала магнитометра показаны на рисунке 7.

**Вывод:** В результате проведенных исследований экспериментального образца инерциальной системы ориентации применены методики, которые позволили устранить смещение нуля и уменьшить шум измерительной характеристики модуля гироскопа и акселерометра MPU-6050 и устранить смещение нуля магнитометра HMC5883L.

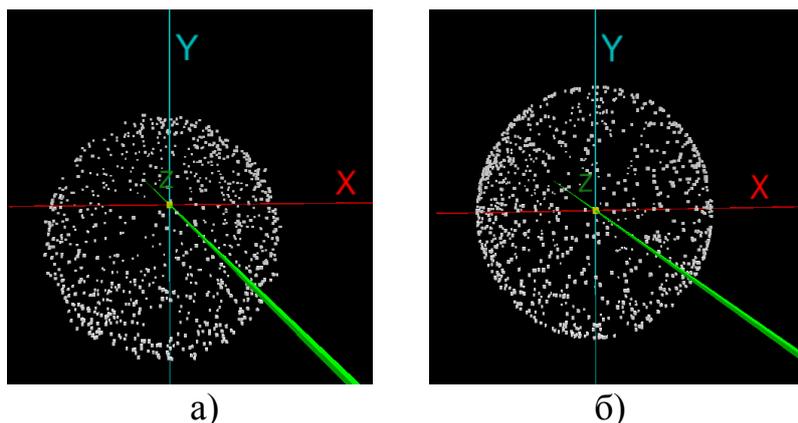


Рисунок 7. Результаты значения магнитометра:  
а) до калибровки; б) после калибровки

### Список информационных источников

1. М.А. Литвин, А.А. Малюгина, А.Б. Миллер, А.Н. Степанов, Д.Е. Чикрин. Типы ошибок в инерциальных навигационных системах и методы их аппроксимации// Информационные процессы, Том 14, № 4, 2014, стр. 326–339.

2. DIY DRONES/ All Blog Posts/ My Blog/ Advanced hard and soft iron magnetometer calibration for dummies [Электронный ресурс] - URL: <http://diydrones.com/profiles/blogs/advanced-hard-and-soft-iron-magnetometer-calibration-for-dummies>.

## УПРАВЛЕНИЕ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ ПОМОЩИ ГРАВИТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ

*Дамдинов Б.О.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент кафедры точного приборостроения*

Прогресс современных науки и технологий достиг такого уровня, что выпускаемая аппаратура становится все более миниатюрной и компактной, не теряя при этом функционального назначения. В связи с этим начало XXI века ознаменовалось активным развитием отрасли производства малых космических аппаратов (МКА).

Уменьшение габаритов и массы, является большим преимуществом в области космического приборостроения, поскольку