

# МАКЕТ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ НАНОСПУТНИКА

**В. Е. Евчик**

*Белорусский государственный университет, г. Минск,  
slava97evev@gmail.com  
науч. рук. – А. А. Спиридонов, ст. преп.*

Предложен вариант построения бортового модуля системы определения ориентации и стабилизации для макета университетского наноспутника. Макет наноспутника и подсистема «Наземный комплекс управления» составляют основу аппаратных средств лаборатории удаленного доступа. Описаны программно-аппаратные средства модуля системы определения ориентации и стабилизации и его функциональные возможности.

**Ключевые слова:** наноспутник; система определения ориентации и стабилизации; имитатор космического аппарата; лаборатория удаленного доступа.

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Лабораторная база подготовки специалистов аэрокосмической отрасли даже на классе сверхмалых космических аппаратов – это дорогостоящее, а иногда и уникальное оборудование, которое неэффективно использовать в обычном физическом лабораторном практикуме при персональной подготовке студентов на отдельных лабораторных стендах. Стоимость инженерной модели наноспутника с программным обеспечением достигает сотен тысяч долларов США. Кроме того, нужно заметить, что космический аппарат – это сложный комплексный прибор с которым близкий контакт человека-оператора невозможен, поэтому необходимо специальное оборудование для дистанционного управления и сбора экспериментальных данных [1]. Навыки дистанционного управления и сбора экспериментальных данных являются необходимой частью подготовки специалистов аэрокосмической отрасли.

Уникальность и высокая стоимость аппаратуры, ее востребованность как в образовательном процессе, так и в реальных научных исследованиях привели к идее создания лабораторий удаленного доступа по аэрокосмическим направлениям «Космические аппараты», «Наземные комплексы» [2].

## МОДУЛЬ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ

Имитатор космического аппарата (КА) и подсистема «Наземный комплекс управления», макетно имитирующая работу реального наземного

комплекса управления КА, составляют основу аппаратных средств для лаборатории удаленного доступа. Бортовой модуль определения ориентации и стабилизации работает в составе имитатора КА совместно с подсистемами «Бортовой компьютер», «Бортовой модуль связи», «Бортовой модуль электропитания». Бортовой модуль предназначен для определения ориентации подсистем, имитирующих работу бортовых систем КА и стабилизации углового положения этих подсистем. Он использует коммерческие комплектующие для датчиков ориентации и разработанные электромагнитные катушки для обеспечения требуемого углового момента стабилизации.

## РАЗРАБОТКА

Для реализации бортового модуля определения ориентации и стабилизации был использован микроконтроллер STM32F103 вместо первоначально запланированного микроконтроллера ATmega2560. Это связано с его большей производительностью, меньшим энергопотреблением, большим набором интерфейсов подключения и унификацией бортовых компьютеров на имитаторе КА. В бортовом модуле определения ориентации и стабилизации реализуются алгоритмы определения ориентации, алгоритмы стабилизации и алгоритмы управления угловым положением имитатора КА. Микроконтроллер STM32F103 бортового модуля определения ориентации и стабилизации подключен к подсистеме «Бортовой компьютер» на основе микроконтроллера STM32F746 через SPI интерфейс.

В качестве исполнительных органов системы стабилизации были разработаны магнитные катушки как воздушные, так и с сердечником из магнитомягкого материала, создающие управляющие моменты. Для управления угловым положением используется трехосевая электромагнитная система стабилизации: 6 катушек, расположенных по трем взаимно-перпендикулярным осям. Две катушки располагаются вдоль осей  $Ox_b$  и  $Oy_b$  связанной с бортовым модулем определения ориентации и стабилизации системы отсчета и имеют максимальные значения магнитных моментов не менее  $0,1 \text{ A}\cdot\text{m}^2$ . Еще 4 катушки, расположенные вдоль оси  $Oz_b$ , имеют суммарное максимальное значение магнитного момента не менее  $0,1 \text{ A}\cdot\text{m}^2$ .

Управление электромагнитной системой стабилизации осуществляется микроконтроллером STM32F103 путем подачи команд управления. Микроконтроллер посылает команды на включение и выключение катушек, на изменение направления токов в магнитных катушках, через UART TTL на драйвер катушек A3953. Также посылаются команды на

цифровой потенциометр MCP4561, подключенный к микроконтроллеру через I2C интерфейс, тем самым обеспечивая управление по величине тока катушек согласно алгоритмам стабилизации и управления угловым положением, как показано на рисунке. Каждая из магнитных катушек подключена к драйверу катушек A3953 посредством линии питания через датчик тока и напряжения INA219, который обеспечивает получение телеметрии по току и напряжению от каждой катушки.

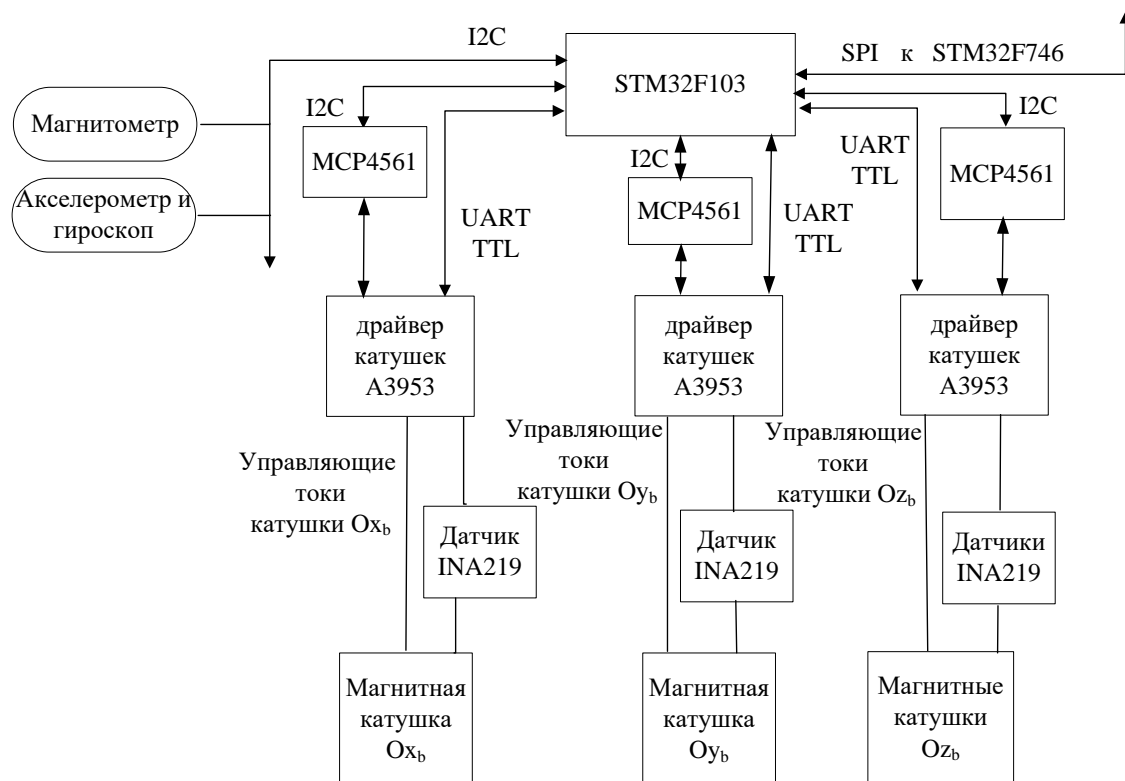


Рис. 1. Структура бортового модуля определения ориентации и стабилизации

## МОДЕЛИРОВАНИЕ

При макетном моделировании одноосной системы ориентации и стабилизации имитатор КА подвешивается на струнном подвесе в имитаторе магнитного поля учебного комплекса отработки систем ориентации и стабилизации малых КА вдоль вертикальной оси  $Oz$  неподвижной инерциальной системы координат  $Oxuz$  (связанной с неподвижным имитатором магнитного поля). Это обеспечивает его вращение вокруг этой оси  $Oz$ , которая совпадает либо с осью  $Oz_b$  связанной с имитатором КА вращающейся системы координат  $Ox_b y_b z_b$ , либо с осью  $Oy_b$ . Система координат  $Ox_b y_b z_b$  равномерно вращается относительно неподвижной инерциальной системы координат  $Oxuz$  с относительной угловой скоростью  $\omega_z$ . Оси  $Ox_b$  и  $Oy_b$  направлены вдоль осей магнитных катушек, ста-

билизирующих имитатор КА во внешнем магнитном поле. Учебный комплекс отработки систем ориентации и стабилизации малых КА моделирует реальное орбитальное магнитное поле с учетом масштабных коэффициентов.

Бортовой модуль определения ориентации и стабилизации определяет ориентацию и угловую скорость вращения имитатора КА, подвешенного на струнном подвесе, на основе данных основных датчиков, проверяет точность определения ориентации по показаниям резервных датчиков системы ориентации. Программное обеспечение (ПО) определения ориентации позволяет моделировать и обрабатывать детерминированные и статистические алгоритмы определения ориентации на основе данных как одного датчика (например магнетометра), так и на основе данных нескольких датчиков (магнетометра и трехосевого гироскопа) с учетом смещений показаний датчиков. ПО управления угловым положением позволяет моделировать и обрабатывать алгоритмы демпфирования угловой скорости; алгоритмы раскрутки спутника вокруг оси симметрии до заданной угловой скорости; наведения имитатора КА, подвешенного на струнном подвесе, на заданное направление.

## **РЕЗУЛЬТАТ**

Разработка и внедрение в образовательный процесс лаборатории удаленного доступа позволит повысить качество подготовки специалистов по специальностям, связанным с разработкой космических аппаратов и систем управления, в том числе и по специальности «Аэрокосмические радиоэлектронные и информационные системы и технологии»; приведет к сокращению объемов закупки импортного оборудования для учебных и научных целей. Разработка бортового модуля определения ориентации и стабилизации для лаборатории удаленного доступа позволит на практике познакомить студентов с датчиками и алгоритмами определения ориентации КА, исполнительными органами и алгоритмами стабилизации и управления угловым положением КА.

### **Библиографические ссылки**

1. *Абламейко С. В.* Малые космические аппараты. Минск: БГУ, 2012. 159 с.
2. *Спиридонов А. А.* Интеллектуальные информационные системы: труды Междунар. научно-практ. конф. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2019. Ч.1. С. 170-174.