

А также рассматривается моделирование работоспособности программы, где используется распознавание звёзд методом пятиугольника. Для этого моделируется изображение со ЗД с учётом возникающих реальных ошибок и проверяется качество идентификации звёздных образований и оцениваются точностные характеристики по алгоритму QuEst, которые не превышают $0,0363^\circ$, что является методической ошибкой.

Работа выполнена в рамках проекта 0777-2020-0018, финансируемого из средств государственного задания победителям конкурса научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России.

Библиографический список

1. Аванесов, Г.А. Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции современных проблем определения ориентации и навигации космических аппаратов / Г.А. Аванесов [и др.] // Механика, управление и информатика. Россия. Таруса 22–25 сентября 2008 г. С. 291.

2. Аванесов, Г. А. Исследование звёзд участка небесной сферы двумя датчиками ориентации БОКЗ-М60 / Г. А. Аванесов, Н. И. Снеткова, О. В. Филиппова, Я. Д. Эльяшев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018, – С. 48–59.

3. Дегтярёв, А.А. Лабораторный стенд для отработки макета звёздного датчика ориентации малых спутников / А.А. Дегтярёв, С.С. Ткачёв, Д.А. Мыльников. – М.: Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. – 2010. 32 с.

4. Прохоров, М. Е. Современные датчики и звёздной ориентации / М. Е Прохоров, А. И. Захаров, А. В. Миронов, Ф. Н. Николаев, М. С. Тучин // Труды 38-й Международной студенческой научной конференции. – Екатеринбург. Уральский университет. – 2009. – С. 170–186.

УДК 629.7.054

Соболев Д.Д., Николаев П.Н.

МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ НАНОСПУТНИКА SAMSAT-ION

Магнитометр – практически неотъемлемая часть измерительных систем многих космических аппаратов. Большое распространение системы ориентации и стабилизации, использующие магнитометры, получили в малых космических аппаратах и наноспутниках [1], которые почти полностью завоевали рынок научно-

образовательных космических аппаратов и активно осваивают область практического и научного применения [2]. Например, в работах [3, 4] обсуждаются алгоритмы определения ориентации и демпфирования угловой скорости наноспутника, с привлечением информации о направлении и скорости изменения вектора напряжённости магнитного поля Земли от магнитометров.

У каждого датчика есть набор ошибок, которые необходимо компенсировать для более точного определения ориентации аппарата. На измерения магнитометра влияет множество факторов: наличие магнитомягких и магнитотвердых материалов в конструкции наноспутника, воздействие электромагнитных возмущений, смещения нуля датчика, масштабирования измерений, неортогональность чувствительных осей, случайных шумов. Также колебания температуры изменяет характеристики датчика, вследствие чего показания магнитометра будут отличаться от истинных. Чтобы учесть многие из этих возмущений, вносящих ошибки в измерения, проводят калибровку [5].

Объектом исследования в данной работе являются магнитометры наноспутника SamSat-ION – научно-образовательный наноспутник стандарта CubeSat 3U для исследования ионосферы Земли, который разрабатывается на Межвузовской кафедре космических исследований Самарского университета. На SamSat-ION предусмотрено пять магнитометров: один MMC5883 и один MPU-9255 на плате выносного магнитометра, один MMC5883 и два MPU-9255 на бортовом компьютере.

Для работы с датчиками MMC5883 и MPU-9255 с помощью микроконтроллера были написаны драйверы на языке программирования C.

В данной работе применяется методика калибровки, не требующая информации о величине и направлении измеряемого вектора магнитной индукции и об ориентации датчика. Идея отыскания калибровочных коэффициентов состоит в аппроксимации точек, полученных во время измерений при различной ориентации магнитометра, поверхностью эллипсоида и дальнейшем приведении её к сфере (идеальный случай) [5–7]. Но из-за ограничений температурной калибровки, нет возможности вращать магнитометр вокруг неподвижной точки, чтобы получить измерения при различной ориентации в пространстве. Поэтому предложена калибровка на основе двенадцати статичных положений.

Для проведения наземных испытаний в двенадцати позициях была разработана оснастка для крепления бортового компьютера и платы выносного магнитометра в статичном положении (рис. 1) и экспериментальная установка, представляющая собой теплоизолированный контейнер с отверстиями для технических фенов и вывода кабелей.

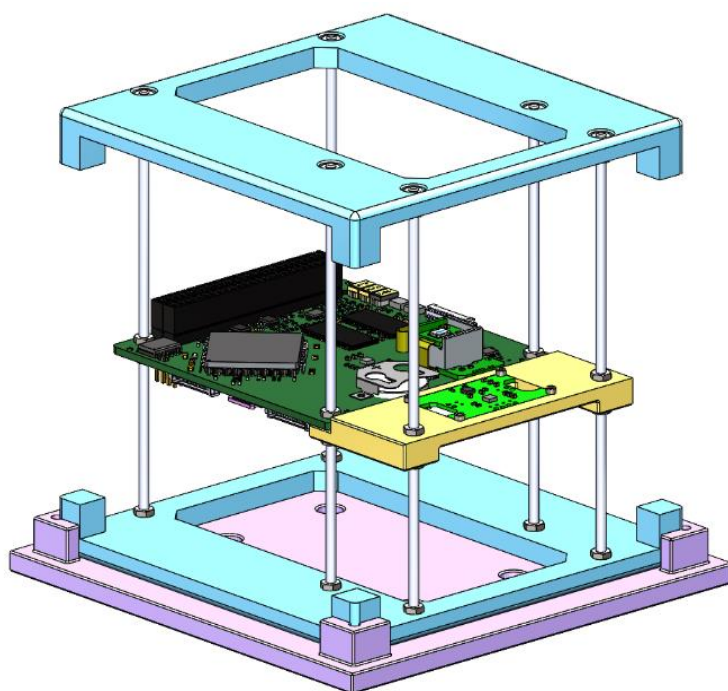


Рис. 1. Модель оснастки для бортового компьютера и платы выносного магнитометра

Датчики будут нагреваться и охлаждаться в разработанной экспериментальной установке. После проведения испытаний профиль изменения температуры разбивается на определенное количество участков, для каждого из которых находятся калибровочные коэффициенты с помощью двенадцатипозиционного алгоритма калибровки. Для определения температурной зависимости калибровочных коэффициентов используется аппроксимация полиномом третьего порядка. Затем полученные зависимости применяются к сырым измерениям для калибровки (рис. 2).

В результате, по предложенной методике были проведены наземные испытания, найдена температурная зависимость калибровочных коэффициентов и составлен заголовочный файл с калибровочными константами и функциями от температуры на языке программирования C для дальнейшего использования на борту наноспутника.

Работа выполнена в рамках проекта 0777-2020-0018, финансируемого из средств государственного задания победителям конкурса научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России.

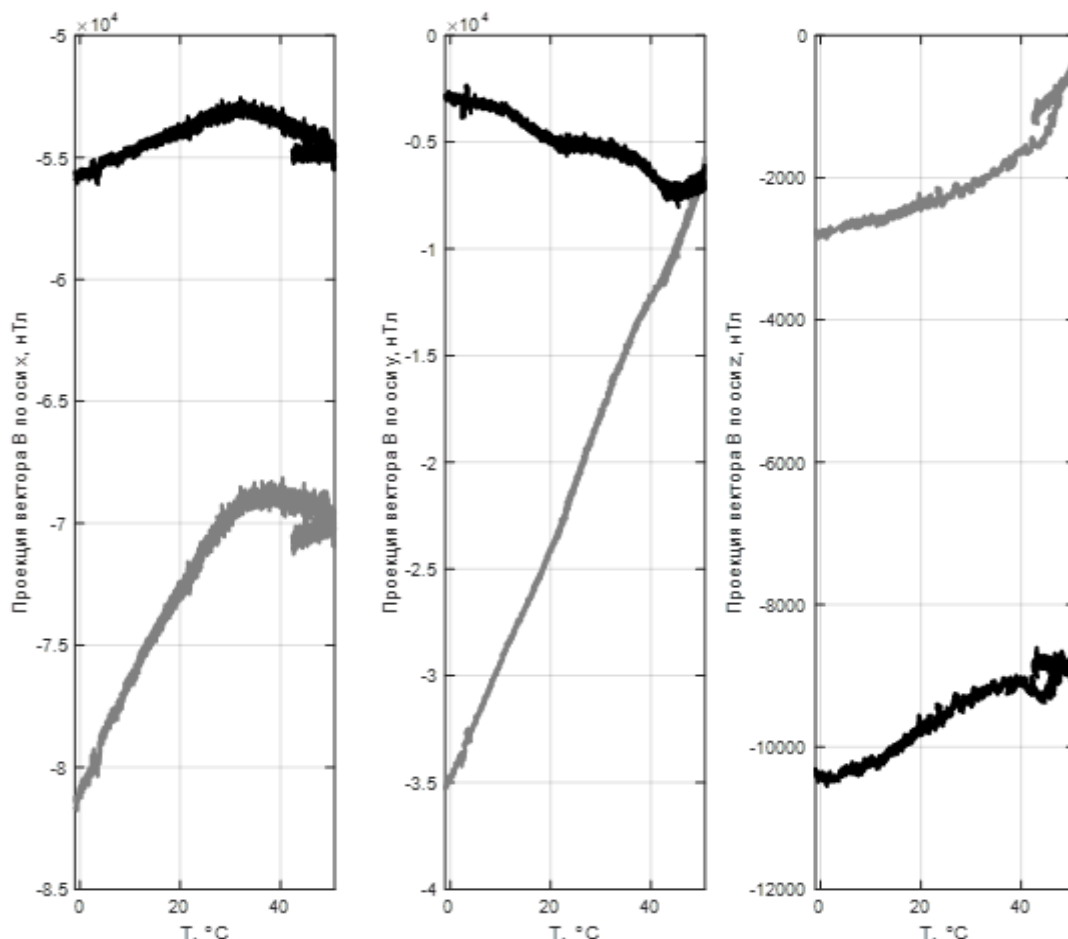


Рис. 2. Пример «сырых» (серые точки) и откалиброванных (черные точки) измерений по трём осям в зависимости от температуры в одном из положений

Библиографический список

1. Овчинников, М.Ю. Магнитные системы ориентации малых спутников / М.Ю. Овчинников [и др.]. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2016. – 366 с.
2. Nanosats Database | nanosats.eu [Электронный ресурс] // URL: <https://www.nanosats.eu/> (дата обращения 12.05.2022).
3. Крамлих, А. В. Бортовой алгоритм для системы ориентации и стабилизации наноспутника SamSat-218Д / А.В. Крамлих, М.Е. Мельник // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2016. – №2(15). – С.50-56.
4. Kramlikh, A. V. Damping control system design for SamSat nanosatellite platform / A.V. Kramlikh, I.A. Lomaka, P.N. Nikolaev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020.
5. Акимов, И.О. Методика калибровки магнитометра на этапе наземной диагностики систем космического аппарата / И.О. Акимов, С.Н. Илюхин, Н.А. Ивлев, Г.Е. Колосов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2018. – №5.
6. Renaudin, V. Complete Triaxis Magnetometer Calibration in the Magnetic Domain / V. Renaudin, M.H. Afzal, G. Lachapelle // Journal of Sensors. – 2010.
7. Vasconcelos, J.F. Geometric Approach to Strapdown Magnetometer Calibration in Sensor Frame / J.F. Vasconcelos, P. Oliveira, C. Silvestre, B. Cardeira // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2011. – Vol. 47, №2. – pp. 1293-1306.