

## Список информационных источников

1. Моментный двигатель [Текст]: пат. 2441310 Рос. Федерация: МПК H02 K 26/00 Мартемьянов В.М., Долгих (Иванова) А.Г.; заявл. 20.08.2010; опубл. 27.01.2012, Бюл. №3. – 6 с.: ил.

2. A. G. Dolgih (Ivanova), V. M. Martemjanov. Executive unit with an active tape element for management system // 2013 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON): proceedings, Krasnoyarsk, September 12-13, 2013. - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013 - р. 1-3.

3. Долгих (Иванова) А.Г., Кодермятов Р.Э., Мартемьянов В.М. Моментный двигатель с ленточной намоткой при импульсном включении // Электронные и электромеханические системы и устройства: тез. докл. науч.-техн. конф. молодых специалистов (Томск, 14-15 февраля 2013 г.) / ОАО «НПЦ «Полюс». – Томск, 2013. – с.131-133.

4. Долгих (Иванова) А.Г., Мартемьянов В.М. Активный элемент моментного двигателя // Контроль. Диагностика.-2011. специальный выпуск. С. 109-111.

5. Долгих (Иванова) А.Г., Кодермятов Р.Э., Мартемьянов В.М. Исполнительные двигатели с ленточной намоткой // Вестник науки Сибири, № 1 (7) (2013). – С. 42-49. URL: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/604>.

## ПРИМЕНЕНИЕ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ В КОСМИЧЕСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ

*Рустембек улуу А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск.*

*Научный руководитель: Баранов П.Ф., к.т.н., доцент кафедры точного приборостроения*

При растущих требованиях к спутниковым системам наблюдения становится необходимо усовершенствование космических аппаратов и различных бортовых систем. Это в первую очередь затрагивает высокоточные измерительные системы орбитального и углового движения.

Для управления космическим аппаратом часть информации поступает из наземных комплексов управления. Но программы обеспечивающих систем (навигации, ориентации, стабилизации) для функционирования целевой аппаратуры рассчитываются на борту

космических аппаратов [1]. При этом повышается уровень автономности и интеллектуализации работы бортовой системы управления космических аппаратов. Одной из ключевых задач является определение параметров и характера движения центра масс на борту космического аппарата.

Возмущающие ускорения, действующие на центр масс космических аппаратов на орбитах в диапазоне от 300 до 700 км составляют от  $10^{-5}$  до  $10^{-8}$  м/с<sup>2</sup>. Чтобы добиться требуемой точности не хуже 1 % от измеряемой величины необходимо на борту аппарата установить высокочувствительные приборы, измеряющие ускорение акселерометрами. Их порог чувствительности в данном случае должен быть не хуже чем от  $10^{-7}$  до  $10^{-9}$  м/с<sup>2</sup>[1].

По принципу действий существует две группы акселерометров: маятниковые и емкостные [1].

В каждом маятниковом акселерометре есть упругий подвес, при воздействии ускорения на который по оси чувствительности, происходит компенсация момента силы. Так как маятник прибора и упругий подвес соприкасаются друг с другом, подвес приводит в движение маятник.

Принцип действия емкостных акселерометров основан на изменении электрической емкости между статическим и динамическим состояниями. Соответственно в конструкцию таких приборов обязательно должен входить конденсатор (эти датчики еще называют акселерометрами на переменных конденсаторах).

Принцип действия любого акселерометра основан на втором законе Ньютона. В состав каждого прибора входит некий элемент, называемый инерционной массой. Эта инерционная масса прикреплена к одной из двух пластин конденсатора, совершающего перемещение внутри корпуса, а вторая пластина статична и, как правило, соединена с корпусом. Инерционная масса отстает от движения корпуса – это достигается воздействием силы со стороны другого конструктивного элемента – пружины, при изменении скорости корпуса. Соответственно эта сила изменяет движение инерционной массой, следовательно, пружина изгибается, а расстояние между корпусом и инерционной массой изменяется [1].

Измерение микроускорений космического аппарата позволяет определить плотность атмосферы на больших высотах по эффекту торможения аппарата, исследовать динамику входа аппарата в атмосферу, измерить пондеромоторные эффекты воздействия электромагнитных полей, солнечного ветра, микрочастиц и светового давления на аппарат [2]. Датчик должен позволять измерять микро-

ускорения аппарата по трем ортогональным осям в диапазоне от  $10^{-6}$  до  $15 g$  ( $g$  – ускорение свободного падения на Земле).

### **Акселерометры в космических спутниках**

Ускорения микро-гравитации состоит из двух режимов: квазиустойчивая окружающая среда и вибрирующая переходная окружающая среда; поэтому, измерение окружающей среды ускорения микро-гравитации лучше всего достигнуто двумя системами акселерометра [2]. В лабораторном модуле Соединенных Штатов измерение этих двух режимов достигнуто системой измерения SAMS-II (Space Acceleration Measurement System-II) и MAMS (Microgravity Acceleration Measurement System). SAMS-II обеспечивает распределенную систему измерения с помощью отдаленных трехмерных систем датчика (RTS). MAMS производит запись квазиустойчивой окружающей среды микро-гравитации, включая влияния аэродинамического сопротивления, вращения транспортного средства и эффектов выражения.

Аппарат GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer) – спутник для исследования гравитационного поля и постоянных океанических течений, чрезвычайно высокой точностью измерял гравитационное поле планеты при помощи трех пар акселерометров, которые определяют проекцию ускорения свободного падения на три перпендикулярные оси [3]. Главной нагрузкой спутника является электростатический гравитационный градиометр, который состоит из 6 акселерометров и предназначенный для измерения гравитационного поля Земли. Они установлены на концах штанги длиной 0.5 м, которая сориентирована точно на центр Земли. Чувствительность каждого акселерометра составляет  $10^{-12} \text{ м/с}^2$ .

Землетрясения создают сейсмические волны, которые проходят через слои Земли. Масштабные землетрясения могут также привести к вибрации поверхности Земли, производить звуковые волны, распространяющиеся через атмосферу. В то время как на поверхности Земли их длина измеряется в сантиметрах, в разреженной атмосфере на высотах 200-300 км она увеличивается до сотен метров. Инфразвук или низкочастотный звук, который достигает этих высот, вызывает вертикальные движения, при этом расширяют и сжимают атмосферу. Это движения, зафиксированное GOCE удалось обнаружить, благодаря трем парам акселерометров, которые настолько точны, что могут обнаружить ускорение с точностью до одной единицы  $10^{13}$  гравитационной силы Земли [4].

Задачей миссии GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) является составление точной карты изменений гравитационного поля Земли на протяжении пятилетнего периода. Деятельность миссии GRACE основана на работе двух одинаковых спутников, находящихся на расстоянии 220 километров друг от друга, на полярной орбите высотой 500 километров над Землей. Акселерометр ACC – измеряет негравитационные силы, действующие на аппарат. Акселерометр «SuperSTAR» включает блок датчиков, который измеряет ускорения, и блок интерфейса, где фильтруются и обрабатываются цифровые сигналы акселерометра [5].



Рисунок 1. Акселерометр GRACE

Для спутниковых микроакселерометров необходимым критерием является чувствительность около  $10^{-7}$  до  $10^{-9}$  м/с<sup>2</sup>. За рубежом известны высокочувствительные приборы такие, как «Кактус» (Франция) и «Дискос» (США).

Акселерометр «Кактус» был рассчитан на измерение ускорений в диапазоне  $10^{-5}$  –  $10^{-9}$  g, с точностью  $5 \times 10^{-10}$  g [6]. В приборе использовалась сферическая масса диаметром 40 мм из платиново-родиевого сплава, взвешенная в электростатическом поле внутри вакуумированного металлического корпуса.

Фиксируемых акселерометром «Кактус», для диагностики возможных проявлений сейсмической активности Земли в микроускорениях были отобраны 37 землетрясений, из каталога Национальной Геологической Службы США (USGS). Из них несколько событий были объединены в одно, так как координаты эпицентров находились рядом друг с другом и временной интервал между землетрясениями не превышал 24 часов. За счет этого итоговое число анализируемых землетрясений уменьшилось до 24 [6].

### Заключение

Спутниковые акселерометры являются определяющими навигационными, стабилизационными и ориентировочными приборами для космических аппаратов. Эти датчики имеют различные варианты конструкции и принципы действия. При повышении точности этих

приборов все космические системы наблюдения станут более совершенными.

### Список информационных источников

1. Боев И. А. Спутниковые микроакселерометры и задачи, решаемые с их помощью // Молодежный научно-технический вестник: Издатель ФГБОУ «МГТУ им. Н.Э. Баумана». – 2013. – № 77. – С.6.

2. Левтов В. Л., Богуславский А.А., Сазонов В.В. Исследование точности системы компьютерного зрения для тестирования низкочастотных акселерометров на борту космического аппарата // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2009. – № 66. – С.24.

3. Спутник GOCE – [электронный ресурс] – URL: <http://www.dailytechinfo.org/space/4630-sputnik-goce-stanovitsya-pervym-kosmicheskim-seysmografom-sposobnym-obnaruzhit-zemletryasenie-s-orbity.html>

4. Землетрясение теперь можно обнаружить с орбиты с помощью спутника GOCE – [электронный ресурс] – URL: <http://the-day-x.ru/zemletryasenie-teper-mozhno-obnaruzhit-s-orbity.html>

5. Строчков Михаил. Спутниковые методы изучения Земли на примере системы GRACE // МГУ им. М.В. Ломоносова. – 2010. – С.13.

6. Тертышников А. В., Скрипачев В.О. Возмущения плотности верхней атмосферы над сейсмоопасными регионами по данным бортового акселерометра «Кактус» на космический аппарат «КАСТОР» // Под ред. Липеровский В.А. – 2008. – С.5.