

Таблица. Основные технические характеристики силовых магнитов для МССКМ

	СМ-001	СМ-002	СМ-003	СМ-004
Магнитный момент, $A \cdot m^2$	60	120	50	30
Мощность, Вт	4,8	1,5	2,4	1,0
Масса, кг	1,3	3,2	1,8	1,5
Размеры	597×42×91	786×52×80	431×52×80	361×52×80

Наличие универсального электронного прибора и ряда силовых магнитов позволяет сократить время разработки и поставки МССКМ в соответствии с требованиями заказчика.

**Список литературы:**

1. Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н. Управление ориентацией космических аппаратов. – М.: Изд. «Наука», 1974.
2. Кондратьева Н.Я., Одинцова В.А. Справочник по космонавтике. – М.: «Военное издательство министерства обороны СССР», 1966.
3. Ковтуненко В.М. Динамика космических аппаратов с магнитными системами управления. – М.: Изд. «Машиностроение», 1978.
4. Джанджгава Г.И., Схоменко А.Н. Отечественный миниатюрный магнитометр МА-5 для гравитационных систем ориентации с активным демпфированием угловых колебаний малых космических аппаратов. Москва, «Журнал Авиакосмическое приборостроение», 60, №8, 2006.

## БЕСКАРДАННАЯ ИНЕРЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ОРБИТАЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Медведков А.А.

Научный руководитель: Ландау Б.Е., главный конструктор по направлению  
ОАО «Концерн»ЦНИИ»Электроприбор»

Россия, 197046, г. Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, 30

E-mail: medvedcov@ya.ru, borland183@gmail.com

**Введение**

В настоящее время задача определения ориентации большинства отечественных и зарубежных орбитальных космических аппаратов (КА) решается с помощью гироскопических систем ориентации, использующих, как правило, датчики угловой скорости: поплавковые гироскопы, волоконно-оптические и даже микромеханические. При этом для коррекции погрешностей таких систем ориентации необходимы частые дискретные измерения углового положения КА астродатчиками (АД).

Однако существует целый ряд задач, которые требуют обеспечения более высокой точности в определении ориентации КА при повышенной динамике и длительных интервалах между астрокоррекциями (АК).

Именно такие задачи, стоящие перед создателями космических аппаратов дистанционного зондирования земной поверхности, привели к необходимости разработки бескарданной инерциальной системы ориентации БИС-ЭГ (рис.1) на базе

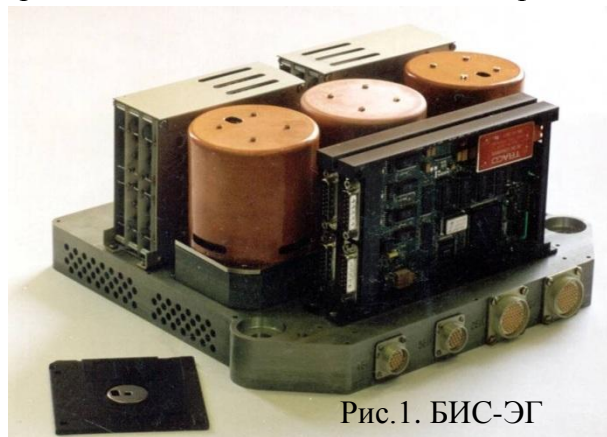


Рис.1. БИС-ЭГ

электростатических гироскопов со сплошным шаровым ротором (БЭСГ). Разработка такой

системы началась в ЦНИИ «Электроприбор» в 1998 г. Система включает в себя три БЭСГ с электростатическим подвесом (ЭСП) и оптико-электронной системой списывания угловой информации (ОСС), блоки разгона/демпфирования ротора, автоматики, электропитания и вычислительные устройства [1].

Начиная с 2004 г. БИС-ЭГ прошла летные испытания и штатную эксплуатацию на 11 КА трех разных типов. К 2006-2007 гг. главной задачей, требующей приложения основных усилий разработчиков БИС-ЭГ, стала задача обеспечения более высокой точности определения ориентации КА.

#### **Электростатический гироскоп со сплошным шаровым ротором.**

Разработка электростатического гироскопа со сплошным ротором в ЦНИИ «Электроприбор» начата с начала 90-х годов прошлого века.

В приборе БЭСГ сплошной 10-мм бериллиевый сферический ротор взвешен в электрическом поле, создаваемом тремя парами ортогонально расположенных электродов электростатического подвеса (рис. 2; 3).

Опорное напряжение на электродах при испытаниях в наземных условиях составляет около 450В (что обеспечивает перегрузочную способность электростатического подвеса до 10...15g), для повышения точности в условиях невесомости это напряжение снижается до 200 В.

Вращение ротора с частотой около 180000 об/мин и демпфирование его нутационных колебаний в любой из трех ортогональных ориентаций обеспечивается 6-тью симметрично расположенными катушками с дальнейшей стабилизацией скорости вращения электрическими силами подвеса.



Рис.2. Ротор БЭСГ



Рис.3. БЭСГ

Для обеспечения и поддержания вакуума предусмотрен магнитоэрозийный насос, который создает в рабочем зазоре вакуум  $10^{-6} \dots 10^{-7}$  мм рт. ст. В целях исключения влияния уводящих моментов магнитной природы, как сам насос, так и чувствительный элемент гироскопа помещены в системы магнитных экранов.

Списывание информации об угловом положении ротора в неограниченном диапазоне углов осуществляется с помощью 6-ти ортогонально расположенных оптических датчиков по нанесенному на роторе растровому рисунку.

#### **БЭСГ. Современный уровень погрешностей и пути повышения точности**

Точность решения задачи ориентации КА зависит как от параметров БЭСГ (точности ОСС и дрейфа ротора гироскопа), так и от характеристик других устройств (точности астродатчика, стабильности и точности знания углов рассогласования между измерительными базами каждого БЭСГ и астродатчика).

Уровень систематического дрейфа гироскопов при наземных испытаниях составляет 1...3 %/ч, а в космических условиях - 0,1...0,2 %/ч. Различие обусловлено отсутствием силы тяжести на орбите КА и «автокомпенсационным» воздействием относительно высокой

скорости его орбитального вращения. Для снижения дрейфов ЭСГ могут использоваться как аппаратные, так и алгоритмические методы.

К аппаратным методам можно отнести: усовершенствование ротора гироскопа, обеспечение точности сборки электродов ортогонального ЭСП и обеспечение высокой стабильности положения ротора в электростатическом подвесе.

Алгоритмические методы связаны, во-первых, с разработкой адекватных математических моделей и их корректным применением в различных режимах и алгоритмах работы БИС-ЭГ. Во-вторых, с использованием алгоритмов фильтрации, которые позволяют оценить и скомпенсировать дрейф БЭСГ за счет уточнения коэффициентов модели (КМУ) по информации от астродатчика и измерении взаимного положения роторов двух гироскопов.

Основная часть полного дрейфа гироскопа компенсируется с помощью модели ухода, коэффициенты которой подлежат калибровке.

#### **Начальная калибровка БИС-ЭГ**

Режим калибровки БИС-ЭГ в настоящее время осуществляется при наземной обработке данных телеметрии в основном на начальном этапе летных испытаний. Однако он также повторяется при последующих отключениях/включениях БИС-ЭГ.

В качестве исходных данных используется телеметрическая информация (ТМИ) с данными о направляющих косинусах с дискретностью 30 – 120 с и об «эталонном» кватернионе углового положения связанной с КА системы координат относительно инерциальной (ИСК), построенной на АД, с дискретностью 1 – 3 мин в течение трёх – четырёх калибровочных витков. Подробно алгоритм уточнения КМУ и определения матриц привязок с использованием процедуры фильтра Калмана изложен в [2,3].

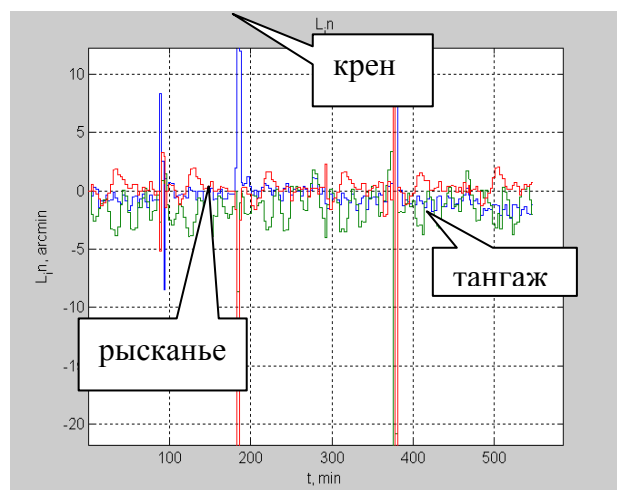


Рис.4. Погрешности (в угл. мин.) определения параметров ориентации КА относительно ОСК после введения оценок КМУ и погрешностей привязки измерительных осей БЭСГ к осям АД (выбросы вызваны сбоями в ТМИ)

После ввода оценок КМУ и погрешностей измерительных осей БЭСГ к осям АД погрешности ориентации КА (рис.4) не превосходит 2-3-х угл. мин и практически не содержит нарастающей (дрейфовой) составляющей.

#### **Алгоритм вычисления оценок остаточных дрейфов БЭСГ**

Дальнейший шаг в повышении точности БИС-ЭГ построен на дополнительном алгоритме в штатной программе центрального вычислителя в котором остаточный дрейф ИСК, нескомпенсированный с помощью модели ухода, оценивается при текущих астрокоррекциях и компенсируется путем вычисления оценок остаточных дрейфов каждого гироскопа, участвующего в построении ИСК.

Эффективность введения дополнительных поправок к дрейфам БЭСГ проиллюстрирована на рис.5, где приведены результаты АК для одного из КА. Работа БИС-ЭГ в запуске начинается с нулевых КМУ. Через 16 часов после запуска начинают вычисляться поправки к дрейфам. Из приведённого рисунка видно, что на начальном этапе при использовании поправок погрешность уменьшилась в несколько раз (с 70 угл. мин до 5-6 угл.мин.). При прекращении вычисления поправок из-за существенного изменения периода орбитального движения КА (с момента времени 280 ч) погрешность стала возрастать. На интервале времени 301-307 час проводились контрольные витки (КВ), затем при наземной обработке КВ вычислялись КМУ, которые были введены в БИС-ЭГ в момент времен 382 час.

После ввода КМУ автоматически (на борту КА) вычислялись поправки к дрейфам, которые были введены в момент времени 386 час. Далее погрешности ориентации находились в пределах нескольких угловых минут.



#### Список литературы:

1. Антонов Ю.Г., Ландау Б.Е., Левин С.Л. Система определения ориентации космических аппаратов на электростатических гироскопах. - *Материалы III международной конференции – выставки. Малые спутники: новые технологии, миниатюризация, области эффективного применения в XXI веке. 27-31 мая 2002 года, Россия, г. Королёв, Московской области - ЦНИИ «Машиностроение», с.209-216.*
2. Б.Е. Ландау, С.С. Гуревич, Г.И. Емельянцева, С.Л. Левин, Б.В. Одинцов, С.Г. Романенко. Результаты калибровки электростатических гироскопов в бескарданной инерциальной системе ориентации. - *Материалы XV Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам; 26-28 мая 2008 года, Россия, Санкт-Петербург.- ЦНИИ "Электроприбор", с.122-129.*
3. Г.И. Емельянцева. Конспект лекции ИСОН на основе БИСО на электростатических гироскопах для космических орбитальных аппаратов, с. 2-5.

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ПЕРЕДАЧИ ПИТАНИЯ И ИНФОРМАЦИИ НА ПЛАТФОРМУ ТРЕХОСНОГО ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА

Нгуен Чонг Иен

Научный руководитель: Белянин Л.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [trongyen\\_bn\\_87@yahoo.com](mailto:trongyen_bn_87@yahoo.com)

Гироскопические приборы содержат большое количество электрических элементов. Ответственной и сложной задачей при проектировании гироскопических приборов является передача электрической энергии и информации между узлами прибора, движущимися друг относительно друга. Для решения этой задачи применяются специальные устройства, называемые токоподводами. В зависимости от угла поворота, количества цепей, особенностей конструкции прибора применяют разные виды токоподводов: упругие и гибкие токоподводы применяются при малых углах поворота; при больших углах поворота применяются контактные токоподводы (коллекторные, точечные, центральные...). В отдельных случаях применяются жидкостные или бесконтактные токоподводы (трансформаторные).

На кафедре точного приборостроения ИНК ТПУ разрабатывается трехосный гиростабилизатор для проведения ортофотосъемки с легких и сверхлегких летательных аппаратов. Особенность конструкции данного гиростабилизатора заключается в том, что платформа гиростабилизатора, установленная на специальном шарикоподшипнике с большим внутренним диаметром (120 мм), имеет неограниченный угол поворота относительно промежуточной рамки карданового подвеса. В центре платформы имеется отверстие большого диаметра для размещения в нем объектива фотокамеры. Целью настоящей работы является разработка способов и средств передачи на платформу питающего напряжения, а также передачи с платформы и на платформу управляющих сигналов для осуществления стабилизации платформы в азимуте и азимутальной коррекции. В этом