

Гуревич С.С., Завгородний В.И., Ландау Б.Е., Левин С.Л.

ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА БАЗЕ БЕСКАРДАННЫХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ

Необходимость повышения точности бескарданных инерциальных гироскопических систем ориентации и стабилизации космических аппаратов (КА) обусловила использование в них прецизионных неконтактных свободных гироскопов с электростатическим подвесом (ЭСГ) сферического ротора [1,2,3,4]. При космическом применении ЭСГ появляются дополнительные преимущества как для работы самого гироскопа так и для системы управления КА. Проблемы разработки гироскопа для космической бескарданной системы ориентации (БИС), а также принципы ее построения были изложены ранее [5,6]. Настоящая работа посвящена вопросам практического проектирования БИС и ее составных частей, а также предварительным результатам испытаний экспериментального образца системы.

Основные требования к системе и принципы ее построения

К системе ориентации предъявляется целый ряд требований, в том числе связанных со спецификой космического применения: высокая точность определения угловой ориентации, малая величина нескомпенсированного дрейфа базовой инерциальной системы координат (БИСК); жесткие ограничения по массе и энергопотреблению, необходимость резервирования практически каждого устройства; полная автоматизация работы на необслуживаемых космических объектах.

Для построения аналитического аналога инерциальной системы координат и определения в нем ориентации связанных осей КА необходимо измерение значений направляющих косинусов углов роторов гироскопов с использованием модели дрейфа и с решением уравнений Пуассона. В соответствии с этим, базовая структура системы должна содержать два гироскопа с обеспечивающими их работу электронными блоками, устройства автоматического управления работой, устройства питания, аппаратуру для обработки информации и ее пе-

передачи из системы в бортовой комплекс управления (БКУ), а также для хранения и передачи на Землю информации о состоянии системы.

Структура и состав системы

Среди перечисленных устройств самым сложным, без успешной практической реализации которого была бы невозможна разработка рассматриваемой системы ориентации, является свободный гироскоп

В качестве базового чувствительного элемента предложен разработанный в ЦНИИ "Электроприбор" бескарданный электростатический гироскоп (ЭСГ) со сплошным сферическим ротором, который имеет ортогональную шестиелектродную схему подвеса и симметричную трехосную систему разгона и демпфирования ротора. Списывание информации об угловом положении ротора в неограниченном диапазоне углов осуществляется с помощью шести ортогонально расположенных оптических датчиков по нанесенному на роторе растровому рисунку. Гироскоп содержит двухуровневый подвес ротора, позволяющий удерживать напряжения на электродах при установившемся режиме полета на минимально возможном уровне и значительно увеличивать его на период действия ускорений $0,1 \dots 10g$. Привод используется только для разгона ротора, после чего он отключается и дальнейшее вращение ротора происходит на выбеге. Для обеспечения и поддержания вакуума в приборе установлен магниторазрядный насос. Чувствительный элемент гироскопа помещен в двухслойный магнитный экран.

Система ориентации (рис. 1) состоит из блока чувствительных элементов (БЧЭ) и блока электроники (БЭ), которые конструктивно выполнены в виде двух отдельных моноблоков, объемом около 15 л каждый, соединенных кабелями. Масса системы – 25 кг.

В состав БЧЭ входят три идентичных автономных измерительных канала, каждый из которых содержит гироскопический электромеханический чувствительный элемент, расположенные в непосредственной близости электронные блоки подвеса, специализированный вычислитель измерительного канала (СВ-ИК) и вторичные источники питания. СВ-ИК предназначен для измерения и обработки информации об угловом положении ротора, измерения частоты вращения ротора, напряжений в каналах подвеса и тока насоса гирокамеры.

Следует отметить, что переход от карданных систем к бескарданным, большой объем сложных математических моделей и алгоритмов, обусловили использование в составе сис-

темы пяти вычислительных устройств по одному на каждый измерительный канал и два (для обеспечения резервирования) в составе центрального вычислителя. Применение такого количества вычислителей при жестких массо-габаритных ограничениях стало возможным только при условии использования последних достижений в области проектирования цифровых электронных модулей и других электронных комплектующих.

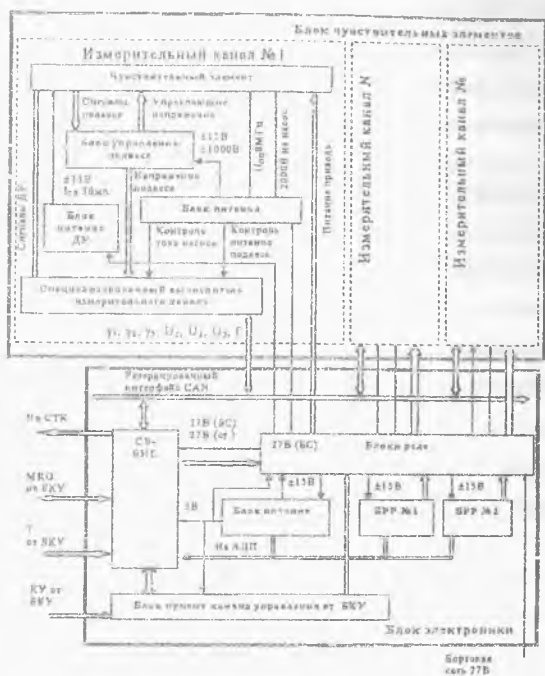


Рисунок 1

Так, например, СВ-ИК является одноплатной микро-ЭВМ и строится на базе сигнального процессора и на быстродействующих аналого-цифровых преобразователях. Оконечным устройством СВ-ИК является быстродействующий дублированный CAN-интерфейс.

БЭ предназначен для обеспечения информационного обмена между БИС, БКУ и системой телеметрического контроля (СТК), списывания информации с измерительных каналов, определения углового положения корпуса БЧЭ относительно БИСК, управления работой

системы. БЭ содержит центральный вычислитель системы – СВ-БИС, блоки автоматики, вторичного электропитания

Блоки приема команд управления, блоки реле, блоки разгона роторов гироскопов (БРР) обеспечивают включение, отключение и переключение режимов БИС по командам, поступающим от БКУ или СВ-БИС. Блоки реле обеспечивают коммутацию цепей блоков разгона таким образом, что любой из трех гироскопов может быть подключен к любому из двух блоков разгона, чем обеспечивается необходимое резервирование. Дублированный блок разгона обеспечивает раскрутку роторов гироскопов относительно взаимноперпендикулярных осей, что позволяет построить три независимые инерциальные системы координат. При этом отказ любого из трех гироскопов не приводит к нарушению работы системы, так как БИСК может быть построена по информации с двух оставшихся гироскопов.

СВ-БИС решает задачи информационного обмена с тремя СВ-ИК, вычисления углового положения корпуса БИС, приема команд, данных и меток времени от БКУ, тестирования БИС-ЭГ и выдачи телеметрической информации, включения и отключения резервных устройств, хранения собственного программного обеспечения; проведения отладки и калибровки БИС в процессе изготовления и испытаний.

Выбор архитектуры и элементной базы обусловлен алгоритмом штатного режима работы БИС. Для его реализации применена быстродействующая одноплатая ЭВМ, выполненная в стандарте РС/104 и построенная на базе процессора класса Pentium с тактовой частотой 50МГц. СВ-БИС представляет собой многомашинную вычислительную систему, включающую в себя два независимых вычислительных канала, каждый из которых самостоятельно решает все задачи обработки цифровых и аналоговых сигналов и информационного обмена. Кроме него в состав СВ-БИС входит тронированное энергонезависимое двухпортовое ОЗУ, с помощью которого осуществляется обмен информацией между вычислительными каналами и хранение информации при работе БИС в дежурном режиме (при отключенных вычислителях), дублированный блок приема меток времени от БКУ, осуществляющий хранение бортового времени и синхронизацию работы всех вычислительных средств БИС-ЭГ, двухканальный блок выдачи телеметрической информации. Информационный обмен с бортовым комплексом управления КА осуществляется через дублированный мультиплексный канал обмена (МКО). Структура вычислителя позволяет в любой момент времени включать или отключать любой из двух вычислительных каналов без нарушения работы системы.

Экспериментальные результаты

В соответствии с изложенной выше структурой разработана документация, изготовлена экспериментальная партия гироскопов и экспериментальный образец системы. Спроектирована и изготовлена контрольно-испытательная аппаратура, включающая элементы точной привязки осей БЧЭ к осям географической системы координат, трехосное прецизионное поворотное устройство, устройство резервированного питания, вычислительную машину, пульт управления.

Получены следующие основные результаты испытаний:

- 1) Определена остаточная погрешность устройства углового списывания гироскопа. Показано, что доработка стендовой аппаратуры, используемой для идентификации калибровочных коэффициентов модели погрешностей устройства, позволяет достичь погрешности не более ± 20 угл.с.
- 2) Практические реализации движения ЭСГ достаточно хорошо совпадают с программным движением, а величина нескомпенсированного с помощью модели дрейфа (при наземных испытаниях) лежит в пределах $5 \times 10^{-4} \dots 5 \times 10^{-3}$ °/ч.
- 3) Величина накопленного нескомпенсированного ухода БИСК при 250-часовом наземном пуске системы составила 3×10^{-4} °/ч, что соответствует значениям, необходимым для космической системы ориентации.
- 4) Получено значение погрешности определения положения осей БЧЭ относительно БИСК. Показано, что ее величина не превышает ± 20 угл. с, при этом она определяется преимущественно погрешностью оптико-электронной системы списывания гироскопа.
- 5) Потребляемая системой мощность при одном работающем канале центрального вычислителя составила 72 Вт, при двух каналах-92 Вт.
- 6) Время функциональной готовности БИС составило около 50 мин, а время точностной готовности- около 3 часов.
- 7) Достаточно высокая надежность подтверждена периодом безотказной работы гироскопов в процессе испытаний –от 3000 до 5000 часов для испытанных ЭСГ.

Таким образом, теоретически и экспериментально подтверждена возможность достижения следующих точностных характеристик системы ориентации КА:

- случайная составляющая погрешности угловой ориентации - не хуже 20 угл.с;
- случайный дрейф базовой инерциальной системы координат - не более $10^{-4} \dots 10^{-5}$ град/ч;

Работа выполнена при поддержке РФФИ, код проекта - 00-01-00461.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусинский В.З., Ландау Б.Е., Пешехонов В.Г. Electrostatic gyro in spacecraft strapdown inertial orientation system// Second International Symposium on Inertial Technology// Beijing, China, October, 1998.
2. Гусинский В.З., Пешехонов В.Г. О перспективах применения электростатических гироскопов в системах ориентации и стабилизации космических аппаратов.- Гироскопия и навигация, №1, 1993, с.3-6.
3. Elwell D.F. An attitude reference system with electrically suspended gyros, Navigation, 1973-1974, vol. 20, No.4
4. C.W.F. Everitt and oth. Probe-B as a geodesy mission and its application for TOPEX - CSTG Bull., 11, 1989, pp. 55-67.
5. Управление движением и навигация летательных аппаратов: Сб. ст. VIII Всерос. науч.-техн. семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов / Самарский филиал Академии космонавтики. Самара, 1999. 255 с.
6. Ландау Б.Е. и др. Электростатический гироскоп для космических систем ориентации.- Научно-техническая конференция : «Проблемные вопросы проектирования и эксплуатации бортовых и наземных систем управления объектов ракетно-космической техники».- 21-22 октября 1999 г., СПб.