

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ ИСЗ С ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТЬЮ

Известно, что в современной авиации магнитное поле Земли (МПЗ) широко используется в пилотажных и навигационных системах, несмотря на применение других, естественных или специально для этого создаваемых, полей, позволяющих обеспечить значительно более высокие точности измерений.

Использование МПЗ для задач определения ориентации и навигации ИСЗ не получило достаточного распространения, что связано, прежде всего, со сложностью прогнозирования МПЗ на движущемся по орбите спутнике и невысокой точностью знания МПЗ, которому свойственны труднопредсказуемые вариации.

Достигнутые в настоящее время успехи, а также тенденции в развитии техники создания БЦВМ и навигационных систем позволяют считать постановку вопроса о перспективе использования МПЗ на ИСЗ вполне обоснованной. При этом следует ожидать, что применение в БЦВМ алгоритмов фильтрации вариаций МПЗ окажется недостаточным для того, чтобы магнитные системы могли сравняться с другими прецизионными системами. Скорее всего, соотношение между магнитными и другими системами ориентации и навигации ИСЗ может быть таким же, как и в современной авиации.

В плане обсуждения возможностей использования МПЗ на ИСЗ ниже рассматриваются два устройства, которые могут представлять практический интерес.

Астромагнитогироскопическая система ориентации (АМГС)

АМГС предназначена для ориентации ИСЗ в орбитальной системе координат и состоит из астроориентатора, магнитометра, БЦВМ, магнитопривода (трех электромагнитов) и гиросtabilизатора (двигателя-маховика) с постоянным кинетическим моментом, направленным по оси, которая в ориентированном положении ИСЗ должна совпадать с бинормалью к орбите. На вход БЦВМ должна поступать навигационная информация.

Фактически АМГС можно рассматривать как сочетание магни-

тогироскопической системы, описание которой приведено в [1], и астроориентатора, который на основании астрономической и навигационной информации позволяет определить с прецизионной точностью поворот ИСЗ в орбитальных координатах. Оставляя в стороне вопрос об устройстве астроориентатора, будем полагать только, что для его работы угловые скорости движения ИСЗ в инерциальном пространстве должны быть ограничены.

Работа АМГС состоит из двух этапов.

Сначала осуществляется успокоение, приведение и предварительная ориентация ИСЗ в орбитальной системе координат без участия астроориентатора. На основании измерения вектора индукции МПЗ, определения положения ИСЗ в географической системе координат и вычисления соответствующего этому положению вектора индукции по Международному эталонному геомагнитному полю определяются разности между измеренными и расчетными значениями векторов индукции и их производных по времени. Полученная информация используется для управления магнитоприводом, создающим управляющий момент за счет взаимодействия его магнитного момента с МПЗ. Для повышения точности в режиме предварительной ориентации используется интегральный закон управления, позволяющий компенсировать постоянную составляющую магнитного момента ИСЗ (автоматическое размагничивание спутника в полете с помощью электромагнитов системы ориентации). Кроме того, предусматривается возможность компенсации нулевого сигнала магнитометра (автоматическая юстировка его в полете), а также функционирование в режиме автономного приближенного определения навигационных параметров ИСЗ по МПЗ. Оценка максимальной погрешности работы АМГС в режиме предварительной ориентации дает величину порядка 1,0-1,5 градуса.

После установления предварительной ориентации управление магнитоприводом переключается на использование прецизионной информации, поступающей из астроориентатора. На время возможных сбоев в работе астроориентатора приближенная ориентация ИСЗ поддерживается опять по сигналам магнитометра.

АМГС обладает минимальной структурой и может использоваться на мини-спутниках.

Особенностью АМГС является то, что применяемый в ней в качестве единственного исполнительного органа магнитопривод обладает известным недостатком, состоящим в его неспособности создавать управляющий момент по направлению вектора индукции МПЗ. Установка на борт ИСЗ гиросtabilизатора позволяет уменьшить влияние отмеченного недостатка на точность ориентации, но

не исключает необходимость принятия мер по ограничению действующих на ИСЗ возмущающих моментов с тем, чтобы обеспечить, хотя бы, требуемый для работы астроориентатора малый уровень угловых скоростей колебаний ИСЗ. Если при этом АМГС все-таки не обрабатывает сигналы астроориентатора до нуля, то эти сигналы могут быть переданы на Землю для последующей привязки полученной с ИСЗ научной информации.

Ориентация ИСЗ с точностями, потенциально присущими астроориентатору, может быть получена за счет выполнения более жестких требований к конструкции спутника и его аппаратуре. Для задач, обычно решаемых с помощью мини-спутников, эти требования сводятся, главным образом, к использованию аппаратуры с низким уровнем внутренних возмущающих моментов и обеспечению компенсации переменной составляющей магнитного момента ИСЗ, порождаемой изменениями режимов работы электрических цепей аппаратуры в полете.

Магнитогироскопический орбитант (МГО) в составе прецизионной системы ориентации ИСЗ

Если конструкция спутника или установленная на нем аппаратура не позволяют обеспечить низкий уровень возмущений, то использование в качестве исполнительного органа одного только магнитопривода оказывается недостаточным. В состав системы ориентации должны быть введены три двигателя-маховика для компенсации действия на ИСЗ как переменных во времени внешних, так и внутренних возмущающих моментов. В этом случае задача магнитопривода сводится только к парированию внешнего векового возмущения (разгрузке двигателей-маховиков), причем таким способом, чтобы не вызывать превышение допустимого для работы астроориентатора уровня угловых скоростей ИСЗ.

Для эффективной борьбы с возмущениями необходимо, чтобы управление двигателями-маховиками осуществлялось не только по сигналам астроориентатора, но и датчика угловых скоростей ИСЗ. Очевидно, что кроме упомянутых устройств, в состав системы ориентации, как минимум, должны входить БЦВМ, на вход которой должна поступать навигационная информация для обработки астроинформации, и магнитометр для формирования управляющих сигналов на магнитопривод.

В такой прецизионной системе может оказаться полезным применение МГО, измеряющего отклонения ИСЗ относительно орбитальной системы координат, несмотря на его сравнительно невысокую точность.

В состав МГО входит магнитометр, датчик угловых скоростей и

БЦВМ, на вход которой, как и в АМГС, должна поступать навигационная информация для определения положения ИСЗ в географической системе координат и вычисления соответствующего этому положению вектора индукции МПЗ по Международному эталонному геомагнитному полю.

Видно, что применение МГО не расширяет состава прецизионной системы ориентации. Для реализации его функций необходимо применение более прецизионного магнитометра в сравнении с тем, который необходим для разгрузки двигателей-маховиков с помощью магнитопривода, и увеличение объема вычислений в БЦВМ.

Можно предложить следующее описание принципа действия МГО. Очевидно, что примененный в [1] способ приведения ИСЗ в орбитальную систему координат по сигналам магнитометра может быть использован и для других механических систем. Предположим, что на ИСЗ установлена гиросtabilизированная платформа (ГСП) - электромеханическая система, осуществляющая физическое моделирование системы координат, которая сохраняет свое положение в инерциальном пространстве при произвольном движении ИСЗ вокруг своего центра масс. Кроме того, ГСП способна осуществлять вращение с требуемой угловой скоростью в инерциальном пространстве под действием управляющих сигналов, а также измерять поворот моделируемой системы координат относительно ИСЗ. Из произвольного начального положения ГСП может быть переведена в орбитальную систему координат, если управляющие сигналы на ГСП формировать, как и в [1], по разностям между измеренными и расчетными значениями векторов индукции геомагнитного поля и их производных по времени (в проекциях на оси моделируемой системы координат). После окончания приведения ГСП ее выходные сигналы будут характеризовать искомый поворот ИСЗ относительно орбитальной системы координат. Стало быть, ГСП, корректируемая по МПЗ, представляет собой, так называемый, орбитант [2]. Его можно сравнить с авиационным гиромагнитным компасом с той лишь разницей, что ГСП измеряет поворот ИСЗ вокруг трех осей, а компас - только поворот самолета по курсу.

Если на борту ИСЗ имеются датчик угловых скоростей и БЦВМ, то функции ГСП можно реализовать, воспользовавшись идеями бесплатформенных систем. Для этого в БЦВМ необходимо решать известные [2-4] дифференциальные уравнения, позволяющие определять параметры поворота моделируемой системы координат относительно ИСЗ по результатам измерения угловой скорости его вращения в инерциальном пространстве. По этой схеме и осуществляется работа МГО. В первом приближении можно считать, что

отличие МГО от рассмотренной ГСП состоит только в том, что МГО осуществляет не физическое, а математическое моделирование в реальном времени положения системы координат, которая по сигналам магнитометра совмещается с орбитальной системой. В установившемся режиме работы МГО выходные сигналы БЦВМ характеризуют искомые параметры поворота ИСЗ в орбитальных координатах.

МГО осуществляет компенсацию постоянной составляющей нулевого сигнала датчика угловых скоростей, а также позволяет проводить автоматическую юстировку магнитометра в полете и функционировать в режиме автономного приближенного определения навигационных параметров ИСЗ по МПЗ. Время выхода МГО в установившийся режим не превышает величину, в течение которой ИСЗ переходит в режим предварительной ориентации после отделения от носителя. Оценка максимальной погрешности работы МГО (с учетом практически достижимых минимальных значений инструментальных, а также методических погрешностей, обусловленных типичными, интенсивными геомагнитными вариациями МПЗ в магнитовозмущенные сутки) дает величину порядка $0,5^\circ$.

МГО позволяет:

- решать задачу успокоения, поиска и предварительной ориентации ИСЗ в орбитальных координатах без использования других позиционных датчиков;
- сохранять приближенную ориентацию ИСЗ на время возможных сбоев в работе астроориентатора;
- осуществлять переориентацию ИСЗ в произвольную систему координат, положение которой относительно орбитальной системы заранее задано, и последующий возврат к ориентации в орбитальных координатах.

Выводы

Приведенное описание свойств АМГС, МГО и рассмотренной в [1] магнитогироскопической системы ориентации позволяет выделить следующие области перспективного использования МПЗ:

- магнитные системы типа МГО могут использоваться в прецизионной системе ориентации для повышения надежности за счет функционального резервирования и обеспечения работы во вспомогательных режимах без расширения функционально необходимого состава системы, а также на ИСЗ с невысокими требованиями к точностям ориентации, например на орбитальных станциях;
- магнитные системы типа АМГС могут использоваться для прецизионной ориентации мини-спутников, если состав его аппа-

ратуры позволяет обеспечить достаточно низкий уровень возмущающих моментов, а использование датчиков угловых скоростей и трех двигателей-маховиков оказывается непозволительной роскошью;

- магнитогирскопическая система ориентации [1], обладающая структурной простотой, может использоваться на ИСЗ с невысокими требованиями к точностям, обеспечение которых, тем не менее, требует проведения наземных мероприятий по ограничению действующих на спутник в полете возмущений.

Очевидно, что рассмотренные примеры не охватывают всего круга возможного использования МПЗ при решении задачи ориентации и навигации ИСЗ.

В заключение необходимо отметить, что практическая реализация новых свойств, которые приобретают системы ориентации за счет использования МПЗ, может быть обеспечена только в случае применения БЦВМ с большими вычислительными возможностями, высокой надежностью и малой частотой сбоев в своей работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козаков А. В. Магнитогирскопическая система - достойный соперник гравитационной системы ориентации на малых спутниках. М.: Труды НПП ВНИИЭМ. Вопросы электромеханики. 2001. Т. 100.
2. Селезнев В.П. Навигационные устройства. М.: Машиностроение. 1974.
3. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Введение в теорию бесплатформенных инерциальных систем. М.: Наука. 1992.
4. Ишлинский А.И. Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация. М.: Наука. 1976.