

УДК 621.396

С. К. Ефимов, А. Г. Нестерович, А. И. Яковченко

АТ Науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань, Харків

Аппаратура спутниковой навигации КА «Січ-1М» и «Микроспутник»

Представлено GPS-приймач для космічної навігації, створений в Науково-дослідному інституті радіотехнічних вимірювань (м. Харків).

В настоящее время использование GPS-приемников на низкоорбитальных космических аппаратах (КА) является обычной практикой. В качестве примера можно привести приемники «Topstar 3000» (фирма «Alcatel», Франция), SGR («Surrey Satellite Technology LTD», Великобритания).

Применение GPS приемников на борту КА позволяет решать следующие задачи.

- **Определение параметров движения (положения и скорости) КА в реальном времени:** данные могут быть использованы как на борту КА, так и на наземной станции слежения, что повышает автономность КА и упрощает слежение за ним.
- **Синхронизация времени:** точность привязки шкалы времени КА ко времени UTC лучше 1 мкс может быть использована для целей телекоммуникации и наблюдения.
- **Использование «сырых» измерений:** принятые GPS-приемником «сырые» измерения (псевдодальность, доплеровское смещение частоты, фаза) могут быть переданы либо на другой КА (для использования в дифференциальном режиме), либо на наземную станцию слежения. Совместная фильтрация данных наблюдений GPS-приемника и модельного движения КА на основе законов Кеплера позволяет достичь высокой точности определения положения КА на орбите (радиальная составляющая лучше 10 см для одночастотного приемника и 3 см для двухчастотного приемника).

Двухчастотные измерения, в свою очередь, могут быть использованы для мониторинга атмосферы Земли.

- **Определение ориентации КА:** размещение на КА нескольких антенн позволяет определить ориентацию КА в пространстве.

Использование GPS-приемника на борту КА имеет свои особенности, вызванные высокой динамикой его движения и работой в условиях космоса:

- большой диапазон изменения измеряемых параметров, затрудняющий поиск и слежение за сигналами спутниковых радионавигационных систем (СРНС);
- работа в условиях глубокого вакуума, радиации, жестком температурном режиме;
- при выводе на орбиту — работа в условиях перегрузок.

Особенностью обработки измерений, вытекающей из свободного полета КА на орбите, является жесткая связь координат и скорости КА через уравнения движения Кеплера, что позволяет применить фильтрацию Калмана для совместной обработки измерений и модели движения КА. Такая фильтрация значительно повышает точность и надежность навигационных определений.

По заказу НКАУ АО НИИРИ (г. Харьков) ведет разработку аппаратуры спутниковой навигации (АСН), предназначенной для установки на борту космических аппаратов «Січ-1М» и «Микроспутник».

КА «Січ-1М» и «Микроспутник» представляют собой низкоорбитальные спутники с круговой околополярной орбитой (высота орбиты 600 км, наклонение 82.5°), предназначенные для оперативного дистанционного зондирования объектов природной среды.

Основное назначение АСН — определение координат, составляющих вектора скорости и сдвига

часов приемника с целью обеспечения координатно-временной привязки фотоснимков, производимых с борта КА. Кроме того, на данной аппаратуре предполагается провести целый ряд научно-практических экспериментов с целью:

отработки принципов построения бортовой АСН КА типа «Сич-2М» и «Сич-3М», предназначенной в том числе и для высокоточного определения параметров движения, времени и угловой ориентации КА по сигналам GPS;

выбора путей создания космического дополнения системы навигационного обеспечения Украины и перспективной гражданской международной спутниковой навигационной системы GNSS-2 на базе низкоорбитальной группировки КА;

исследования возможности организации контрольной станции космического базирования.

Реализация указанных целей зависит от того, какой уровень точности и надежности координатно-временных определений КА будет достигнут в результате проведения эксперимента.

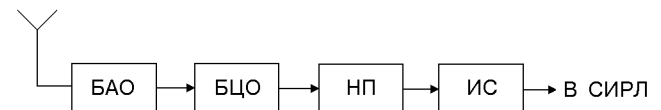
Реализацию эксперимента предполагается проводить по следующей схеме. На борту КА устанавливается АСН, осуществляющая прием и обработку навигационных сигналов. Частично обработанная измерительная информация и результаты бортовых навигационных определений АСН в реальном масштабе времени вместе с телеметрической и другой информацией, формируемой на борту, по специальной информационной радиолнии СИРЛ передаются на наземный пункт приема, обработки и регистрации бортовой информации АСН во время нахождения КА в зоне радиовидимости наземного приемного пункта. Для реализации дифференциального метода навигационных определений на наземном пункте размещается контрольная станция, осуществляющая прием и обработку навигационных сигналов. Зарегистрированная измерительная информация АСН, бортовая телеметрическая информация, а также измерительная информация контрольной станции совместно обрабатываются в режиме послесеансной обработки с целью получения высокоточных параметров движения КА, определения его орбиты и синхронизации (оценки текущего расхождения) шкал времени КА и контрольной станции с привязкой результатов определений к шкале UTC.

В результате эксперимента предполагается установить качество решения задачи синхронизации времени и определения орбиты КА по результатам совместных бортовых и наземных измерений, а также оценить надежность, точность и эксперимен-

тальные характеристики спутниковой аппаратуры космического базирования.

Экспериментальная наземная станция в части аппаратного и программного обеспечения повторяет бортовую АСН. Отличие заключается в программном обеспечении фильтрации параметров, принимаемых АСН, которое реализует узкую полосу фильтра по сравнению с бортовой аппаратурой, где динамика изменения параметров навигационных сигналов примерно на порядок выше, чем на контрольной станции. Кроме того, основная задача контрольной станции заключается в формировании, обработке и регистрации навигационных параметров в сеансе измерений и выполнении наземного контроля целостности СРНС, т. е. выявлении неисправных НКА. Реализация дифференциального режима измерений при таком построении возлагается на программный комплекс послесеансной обработки.

Функциональная схема АСН приведена на рисунке.



Функциональная схема АСН

Приемник состоит из антенны, блока аналоговой обработки сигналов (БАО), блока цифровой обработки сигналов (БЦО), навигационного процессора (НП) и интерфейса связи (ИС).

Поскольку положение КА стабилизировано на орбите с высокой точностью, в приемнике используется одна антенна для приема сигналов из верхней полуплоскости.

АСН построен на базе семейства микросхем фирмы «Mitel Semiconductors» GP2000 и RISC — процессоре ARM60B.

Данный набор микросхем хорошо зарекомендовал себя в работе, в том числе и на борту космического аппарата. Так, на семействе микросхем этой серии построен SGR (Space GPS Receiver) фирмы SSTL.

АСН содержит 12 каналов слежения за сигналами частоты L1 системы NAVSTAR.

Связь АСН с СИРЛ осуществляется через интерфейс связи (RS232, RS422, RS485, MIL-STD-1553B и др. в зависимости от требований радиолнии передачи навигационных параметров и данных полезной нагрузки).

Технические характеристики АСН

Погрешность определения параметров движения спутников в гринвичской системе координат:	
по координатам X, Y, Z	≤ 100 м;
по составляющим вектора скорости $\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}$	≤ 0.5 м/с;
Предельная погрешность выдачи секундной метки в систему управления спутника (при необходимости)	1 мкс
Темп выдачи навигационной информации	1 с
Диапазон частот	L1 (1575.42 МГц)
Код	C/A
Количество измерительных каналов	12
Энергопотребление	6 Вт
Масса (для микроспутника)	1.2 кг
Габаритные размеры (для микроспутника)	212×100×50 мм

Программное обеспечение хранится в электрически перепрограммируемом запоминающем устройстве. Для реализации режима «горячего старта» в

приемнике установлены часы реального времени и энергонезависимая память. В процессе работы АСН постоянно уточняет параметры орбиты и сохраняет их в энергонезависимой памяти вместе с обновленным альманахом GPS. После перерыва в работе при новом включении АСН рассчитывает положение спутников GPS и производит прогноз положения КА на орбите, что позволяет существенно сузить диапазон поиска сигналов и сократить время первого получения навигационных определений.

Проведено моделирование движения КА «Сич-1М», показавшее работоспособность программного обеспечения в условиях динамики движения КА.

SATELLITE NAVIGATION EQUIPMENT OF «SICH-1M» AND «MICROSPUTNIK» SPACECRAFTS

S. K. Efimov, A. G. Nesterovych, A. I. Yakovchenko

The GPS receiver for the space navigation created by Scientific-Research Institute of Radioengineering Measurements (Kharkov) is presented.