

АВТОНОМНАЯ СПУТНИКОВАЯ НАВИГАЦИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА "РЕСУРС-ДК1"

На современном этапе развития космических аппаратов (КА) проблемы реализации функций их навигационного обеспечения приобретают особенно важное значение. Это связано с насущной необходимостью снижения стоимости разработки, создания и эксплуатации аппаратов.

Актуальными становятся вопросы практического построения навигационного обеспечения аппаратов при минимальном использовании традиционных схем проведения траекторных измерений с помощью наземных измерительных средств. Важным направлением развития навигационного обеспечения низкоорбитальных КА является использование глобальных навигационных спутниковых систем.

Ниже представлены результаты разработки автономного навигационного обеспечения космического КА дистанционного зондирования Земли "Ресурс-ДК1", созданного в ракетно-космическом центре "ЦСКБ-Прогресс".

Аппарат "Ресурс-ДК1" функционирует в диапазоне высот от 360 до 600 км и вклонеии плоскости орбиты, равном 70° . При этом он может осуществлять зондирование маршрутов наблюдения на поверхности Земли в полосе обзора, определяемой углом крена аппарата до $\pm 45^\circ$. Полоса захвата аппаратуры зондирования может составлять от 28 до 49 км. Аппаратура зондирования и бортовой комплекс управления позволяют проводить различные виды съемки (азимутальную съемку, стереосъемку и т.д.) периодически задаваемым с Земли характеристикам маршрутов.

Для решения задач управления КА в соответствии с его назначением необходима навигационная информация. В рамках бортового комплекса управления (БКУ) она необходима:

- для формирования программ управления угловым положением аппарата в интересах решения задач зондирования маршрутов наблюдения,
- для формирования программ управления наведением антенных устройств на наземные пункты приема информации,
- для организации планирования работы бортовых систем.

Навигационная информация используется также при проведении экспериментов осуществляемых на борту КА:

- эксперимент по проекту "Памела" проводится с целью решения фундаментальных проблем происхождения Вселенной;

– эксперимент с научной аппаратурой "Арина" проводится с целью экспериментального подтверждения возможности предсказания землетрясений.

В рамках наземного комплекса управления (НКУ) навигационная информация необходима для планирования работы средств управления, а в наземном целевом комплексе – для составления планов наблюдений и координатной привязки получаемых снимков.

Получение навигационной информации осуществляется в рамках баллистико-навигационного обеспечения, реализуемого в БКУ. В число задач баллистико-навигационного обеспечения, решаемых на борту КА входят: определение параметров движения центра масс – радиус-вектора и вектора скорости с использованием системы спутниковой навигации, определение информации для управления аппаратурой зондирования и научной аппаратурой, формирование программ управления угловым движением в интересах выполнения различных задач и другие [1].

Точность параметров движения зависит от характеристик применяемых в БКУ системы навигации, моделей прогнозирования параметров движения и схем навигационного обеспечения КА.

Система спутниковой навигации, созданная в составе БКУ, обеспечивает высокоточное, оперативное определение параметров движения КА с использованием навигационных полей глобальных навигационных систем ГЛОНАСС и GPS.

Система состоит из программного обеспечения, реализованного в вычислительной системе бортового комплекса управления, и навигационной части бортового синхронизирующего координатно-временного устройства (БСКВУ).

В процессе работы система решает следующие функциональные задачи:

– проведение навигационных измерений по радионавигационным сигналам глобальных систем и получение одномоментных определений параметров движения центра масс КА;

– уточнение параметров движения центра масс КА по результатам статистической обработки одномоментных определений параметров движения;

– обновление параметров движения центра масс КА для потребителей в БКУ;

– формирование и накопление навигационной и контрольной информации для передачи в наземный комплекс управления.

Условия функционирования БСКВУ при проведении навигационных измерений сводятся, прежде всего, к обеспечению в процессе полета КА необходимой ориентации оси диаграммы направленности антенных устройств [2].

Общая логика функционирования системы заключается в следующем. Программа управления системой организует периодическое получение одномоментных определений параметров движения с помощью БСКВУ, проведение их статистической обработки, формирование массивов навигационной информации для прогнозирования параметров движения и т.д.

Статистическая обработка навигационных определений, получаемых из БСКВУ осуществляется программой "Уточнение параметров движения центра масс" методом динамической фильтрации с использованием фильтра Калмана. Длительность i -го интервала статистической обработки может составлять от 20 до 100 минут. При этом припятая периодичность съема одномоментных определений около двух минут.

Длительность интервала статистической обработки результатов одномоментных навигационных определений и, соответственно, периодичность обновления параметров движения в БКУ определена, исходя из следующих условий:

- организации решения функциональных задач управления КА на интервал времени, сравнимом с интервалом времени одного витка полета;
- достижения требуемой точности параметров движения к началу планируемого интервала решения соответствующих функциональных задач КА;
- возможности проведения сеансов навигационных определений с учетом равенности навигационного поля орбитальной группировки системы ГЛОНАСС, функционирующей в текущий момент полета КА.

При использовании системы ГЛОНАСС длительность интервала статистической обработки зависит от возможных интервалов проведения одномоментных измерений. При этом в течение одного витка полета КА могут быть интервалы времени, на которых не выполняются условия проведения навигационных измерений. При использовании системы GPS ограничение на интервалы проведения одномоментных навигационных измерений определяются лишь угловым положением диаграммы направленности антенных устройств БСКВУ относительно радиус-вектора КА.

Уточненные параметры движения центра масс КА выдаются системой навигации в программное обеспечение организации снабжения потребителей навигационной информацией. Обновление параметров движения в БКУ система проводит периодически из условия обеспечения требуемой точности их знания.

Предоставляемая системой спутниковой навигации возможность периодического уточнения параметров движения в процессе полета позволяет строить схемы навигационного обеспечения для решения различных задач в рамках бортового и наземных комплексов управления.

Процесс организации навигационного обеспечения программ-потребителей навигационной информации в бортовом комплексе управления включает в себя следующие операции:

- использование параметров движения, поступающих из системы спутниковой навигации;
- использование параметров движения, поступающих с наземного комплекса управления в случае неработоспособности системы спутниковой навигации;
- использование параметров движения, определяемых инерциальной системой навигации на участках работы двигательной установки при маневрах коррекции параметров рабочей орбиты КА;
- контроль процесса формирования массивов навигационной информации (МНИ) в соответствующих зонах памяти бортовой вычислительной системы.

Уточненные в гринвичской системе координат параметры движения центра масс КА с помощью программы прогнозирования параметров движения используются для формирования массива навигационной информации (МНИ-1) на текущий момент времени полета КА. Программа прогнозирования обеспечивает замену параметров движения на текущий момент времени полета КА в массиве МНИ-1 через каждые 30 секунд и при необходимости выдачу параметров движения потребителям с дискретностью 0,25 секунды. Численное интегрирование уравнений движения в программе прогнозирования осуществляется методом Рунге-Кутты, внутри шага интегрирования – с использованием аппроксимирующих полиномов.

В программе прогнозирования параметров движения реализована модель движения, в которой учитываются гармоники разложения поля Земли до четвертого порядка и сопротивление атмосферы. Плотность атмосферы представлена параметрами модели по ГОСТ 4401-81.

При обращении к программе прогнозирования программы-потребители навигационной информации получают (каждая программа в свой массив МНИ- i , где i – номер программы-потребителя) текущие параметры движения из массива МНИ-1. При этом для каждого массива параметры движения на заданный момент времени ($t_{зад}$) формируются в гринвичской или в инерциальной системе координат текущей эпохи – в зависимости от выполняемой функциональной задачи управления КА.

Для наземных потребителей система навигации осуществляет накопление параметров движения, разнесенных по времени их привязки на три-четыре витка полета. Эти массивы параметров движения ежесуточно в планируемых сеансах связи переда-

ются на Землю для совместной обработки и навигационного обеспечения наземных средств управления аппаратом.

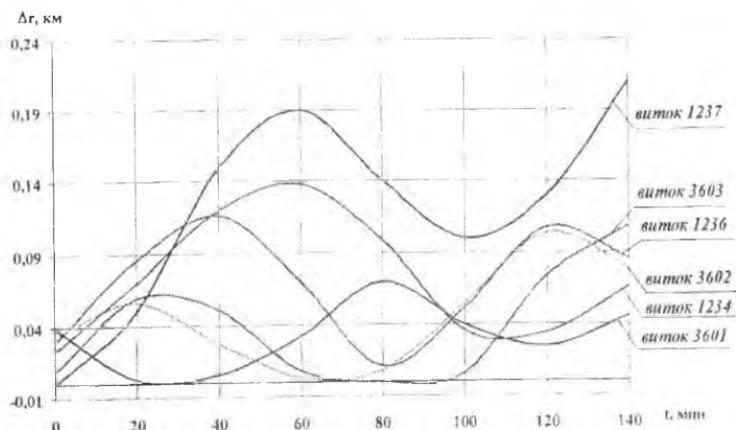


Рис. 1. Зависимость точности прогнозирования параметров движения по радиусу от времени

При этом на интервалах между обновлениями параметров движения системой навигации возможные ошибки прогнозирования параметров движения центра масс КА не превышают требуемых для выполнения аппаратом всех функциональных задач. Иллюстрация зависимости точности прогнозирования параметров движения КА по радиусу на интервале времени до 140 минут представлена на рисунке 1. При этом определение параметров движения системой навигации на витках 3601, 3602, 3603 проводилось по навигационному полю системы ГЛОНАСС и GPS, а на витках 1234, 1236, 1237 – по навигационному полю ГЛОНАСС. Для этих же условий на рис. 2 приведены зависимости точности прогнозирования параметров движения вдоль орбиты.

Результаты апостериорной оценки точности определения параметров движения КА системой навигации на интервале первого года его эксплуатации показывают, что, при совместном использовании радионавигационных полей систем ГЛОНАСС и GPS, точность определения координат аппарата не хуже 18 метров, а компонент скорости не хуже 3 см/с.

Разработанная система спутниковой навигации и созданное бортовое программное обеспечение позволяют автоматически осуществлять снабжение навигационной информацией как бортовых потребителей, так и потребителей наземной инфраструктуры, предназначенной для организации эксплуатации КА "Ресурс-ДК1".

Δt , км

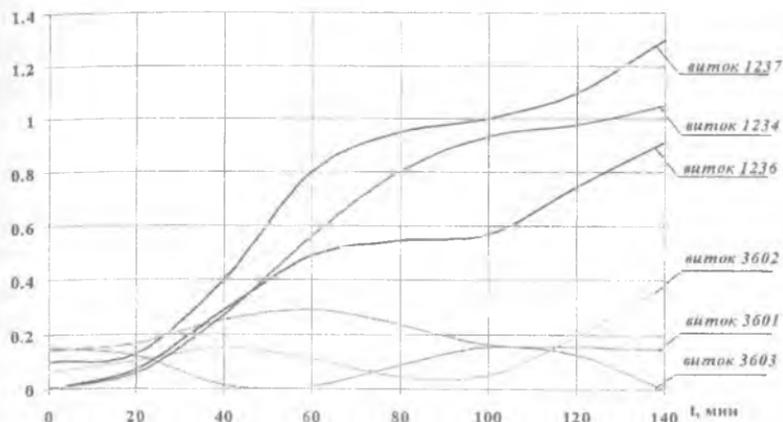


Рис 2. Зависимость от времени точности прогнозирования параметров движения вдоль орбиты

Библиографический список

1. Аншаков Г.П., Мантуров А.И., Мостовой Я.А., Рублев В.И., Усталов Ю.М. Бортовое навигационное обеспечение космического аппарата дистанционного зондирования Земли “Ресурс-ДК”. Сборник трудов 13-й Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. Санкт-Петербург, 2006. – С. 187-193.
2. Антонов Ю.Г., Мантуров А.И., Огарков В.И., Шебшаевич Б.В., Тюляков А.Е. и др. Интегрированная навигационная аппаратура для низкоорбитальных космических аппаратов зондирования Земли. Сборник трудов 10-й Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. Санкт-Петербург, 2003. – С. 69-76.