

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ТИПА «РЕСУРС-ДК»

На эффективность решения задач, решаемых современными космическими аппаратами дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ), существенным образом влияет точность используемой навигационной информации. От точности получаемой на борту КА навигационной информации зависят:

- точность автономного формирования и отработки программ управления угловым движением аппарата в интересах решения задач зондирования;
- точность расчёта баллистических характеристик, влияющих на разрешение получаемых снимков земной поверхности;
- точность привязки снимков в наземном центре обработки информации.

В работе рассмотрены перспективы развития системы спутниковой навигации (ССН) с учётом результатов оценки характеристик этой системы на КА «Ресурс-ДК» по получаемой с борта КА навигационной информации.

Система спутниковой навигации используется для навигационного обеспечения КА ДЗЗ «Ресурс-ДК» разработки ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», функционирующего на орбите с июня 2006 года. Получаемая системой навигационная информация предназначена для планирования целевого применения и управления КА без привлечения наземных измерительных средств.

Система спутниковой навигации состоит из бортового синхронизирующего координатно-временного устройства (БСКВУ) разработки ОАО РИРВ, г. Санкт-Петербург, реализованного в бортовой вычислительной системе бортового комплекса управления (БКУ) программного обеспечения системы.

Программное обеспечение системы решает следующие функциональные задачи:

- получение из БСКВУ с периодичностью 120 с одномоментных навигационных определений (ОНО) координат и скорости центра масс КА;
- получение уточнённой навигационной информации по результатам статистической обработки ОНО;
- периодическое обновление в БКУ параметров движения КА;
- формирование и накопление навигационной и контрольной информации для передачи в наземный комплекс управления (НКУ).

Статистическая обработка результатов ОНО в системе проводится методом ди-

намической фильтрации с использованием фильтра Калмана. Длительность интервала статистической обработки составляет от 20 до 100 мин.

Для решения задач планирования бортовых систем в БКУ используются прогнозируемые на некотором временном интервале координаты и скорость центра масс (ЦМ) КА, а для решения задач привязки снимков используется текущая навигационная информация по результатам определения системой спутниковой навигации.

В свою очередь точность определения и прогноза координат и скорости ЦМ зависят от следующих факторов:

- точности навигационного поля глобальных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS;
- точности измерения навигационных параметров в аппаратуре спутниковой навигации;
- точности методов статистической обработки (фильтрации) результатов одномоментных навигационных определений в ССН;
- точности используемой в БКУ бортовой модели движения ЦМ КА.

Для оценки точности системы используется методика апостериорной оценки точностных характеристик ССН, основанная на получении статистических характеристик погрешностей определения и прогноза параметров движения центра масс (ЦМ) КА по результатам сравнения с эталонной орбитой [1]. В сутки проведения оценки точностных характеристик ССН предусмотрено получение в НКУ дополнительной навигационной информации.

Оценка точностных характеристик была проведена на этапе лётно-конструкторских испытаний в 2006 году для вариантов работы системы с использованием навигационного поля ГЛОНАСС (9-11 навигационных КА) и совместного навигационного поля систем ГЛОНАСС и GPS (примерно 40 навигационных КА). После завершения отработки системы с сентября 2006 года по настоящее время используется совместное навигационное поле систем ГЛОНАСС и GPS, и поэтому оценка характеристик системы позднее проводилась для этого варианта работы ССН.

Необходимый объём навигационной информации для проведения оценки был получен в июне-августе 2006 года, апреле 2007 года и апреле 2008 года.

Анализ полученных результатов работы системы КА «Ресурс-ДК» показал:

- среднее квадратичное отклонение (СКО) погрешностей ОНО при использовании навигационного поля ГЛОНАСС в 2006 году составляют 14 м по координатам и 2,3 см/с по компонентам вектора скорости, а при использовании совместного навигационного поля ГЛОНАСС и GPS соответственно 8 м и 1,4 см/с;

- за счёт замены навигационного КА (НКА) «ГЛОНАСС» на НКА «ГЛОНАСС-М» и повышения в 2007-2008 годах точности навигационного поля систем ГЛОНАСС и GPS, погрешности ОНО по координатам и компонентам вектора скорости на КА «Ресурс-ДК» уменьшились до значений СКО 4 м и 1,0 см/с, соответственно;
- погрешности определения координат в БСКВУ на интервале от 120 до 600 с меняются слабо и сильно коррелированы между собой, т.к. для данного БСКВУ в период с 2006 по 2008 годы погрешности эфемерид навигационных КА остаются определяющими;
- погрешности определения компонент вектора скорости носят случайный характер и изменяются с периодичностью 120 с и менее;
- перевод системы ГЛОНАСС в 2007 году на систему геодезических постоянных ПЗ-90.02 для применяемого на КА «Ресурс-ДК» комплекта БСКВУ практически не повлиял на точность ОНО;
- СКО погрешностей прогноза ПДДЦМ в БКУ на интервале один виток при использовании в БКУ модели движения, учитывающей четыре гармоники гравитационного поля Земли (ГПЗ), не превышают 70 м по радиусу и бинормали и 300 м по направлению вдоль орбиты.

Перспективы развития систем спутниковой навигации для КА типа «Ресурс-ДК» связаны с реализацией планов повышения точностных и эксплуатационных характеристик системы ГЛОНАСС, совершенствования аппаратуры спутниковой навигации и методов обработки навигационной информации в ССН. С учётом этого проведены дополнительные исследования с использованием аналога бортовой программы фильтрации, в том числе для вариантов работы ССН, не реализованных на КА «Ресурс-ДК»:

- использование более точной бортовой модели движения, учитывающей 8 и 16 гармоник ГПЗ;
- уменьшение максимальной длительности интервала фильтрации до 40 мин.;
- обработка результатов ОНО с периодичностью от 120 до 600 с.

Результаты моделирования процесса статистической обработки результатов ОНО, полученных с борта КА в 2008 году на витках 10226, 10256, 10272, и оценки погрешностей определения ПДДЦМ по радиусу приведены на рис. 1-2 для вариантов учёта в бортовой модели движения 4, 8 и 16 членов разложения гравитационного потенциала Земли и длительности статистической обработки 120 мин. (сплошные линии) и три интервала по 40 мин. на том же интервале (пунктирные линии).



Рис. 1. Погрешности фильтрации в ССН результатов ОНО с периодичностью 2 мин. на интервале 120 мин. по радиусу (КА «Ресурс-ДК», витки 10226-10227)



Рис. 2. Погрешности фильтрации в ССН результатов ОНО с периодичностью 2 мин. на интервале 120 мин. по радиусу (КА «Ресурс-ДК», витки 10256-10257)

На основании анализа полученных результатов апостериорной оценки точностных характеристик ССН с использованием совместного навигационного поля систем ГЛОНАСС и GPS можно сделать следующие выводы и рекомендации по совершенствованию системы для КА типа «Ресурс-ДК»:

– использование в БКУ высокоточной бортовой модели движения (не менее 16 гармоник) позволяет существенно уменьшить погрешности определения ПДЦМ КА систе-

мой (на интервале обработки результатов ОНО один виток полёта КА) до значений СКО от 1 до 2 м;

– изменение периодичности фильтрации результатов ОНО в пределах от 120 до 600 с практически не влияет на точность ССН. Следовательно, в условиях сплошного навигационного поля можно обрабатывать результаты ОНО с наилучшим пространственным геометрическим фактором (не более 2);

– при использовании в БКУ бортовой модели движения КА, учитывающей 8-4 гармоники ГПЗ, погрешности определения ПДЦМ КА системой имеют минимальные значения при длительности интервала обработки от 20 до 40 мин. и периодичности фильтрации результатов ОНО от 2 до 6 мин. (СКО 5-8 м). На большем интервале обработки погрешности определения ПДЦМ системой превышают погрешности ОНО из-за накопления погрешностей бортовой модели движения, хотя точность прогноза в БКУ на интервале один виток не ухудшается.

С учётом реализации программы развития системы ГЛОНАСС, реализуемой Роскосмосом, можно ожидать в 2010-2011 годах достижения точностных характеристик навигационного поля ГЛОНАСС до точности совместного навигационного поля систем ГЛОНАСС и GPS, полученной в 2008-2009 годах на КА «Ресурс-ДК».

Библиографический список

1. Рублев В.И., Методика апостериорной оценки точностных характеристик системы спутниковой навигации космического аппарата дистанционного зондирования Земли [Текст]/ В.И. Рублев., Ю.В. Ткаченко. // Сборник трудов XII Всероссийского научно-технического семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов. – Самара, 2006. – С. 114-117.
2. Мантуров А.И., Мостовой Я.А., Огарков В.И., Рублев В.И. Навигационное обеспечение космических аппаратов ДЗЗ [Текст]/ А.И. Мантуров, Я.А. Мостовой, В.И. Огарков, В.И. Рублев. // Аэрокосмический курьер. – 2007. – №6. – С. 32-33.