

Сеть наземных станций приема телеметрии малых космических аппаратов для внешнетраекторных измерений

А.А. Спиридонов, В.А. Саечников, Д.В. Ушаков, В.Е. Евчик, А.Г. Кезик

Белорусский государственный университет, Минск

E-mail: sansan@tut.by

В настоящее время роль малых космических аппаратов (МКА) в исследовании, освоении и использовании околоземного пространства постоянно возрастает. По прогнозу международных исследовательских организаций до 2022 г. на орбите окажется несколько тысяч космических аппаратов класса нано- (массой до 10 кг) и микроспутников (массой до 50 кг), что в разы больше, чем ожидаемое количество больших по массе космических аппаратов. При разработке и эксплуатации МКА встает актуальный вопрос не только об управлении, приеме и обработке данных малым количеством наземных станций, но и о навигационно-баллистического обеспечении (НБО) полета [1]. Для большинства проектов задачи НБО МКА решаются с помощью базы данных американской системы NORAD (точность определения орбитальных параметров имеет порядок 1 км). Реже на борту МКА устанавливается доработанный коммерческий навигационный приемник, который работает в прерывистом режиме из-за ограниченности бюджета системы электроснабжения (точность определения орбитальных параметров имеет порядок от десятков до сотен метров) [2]. Особенно сложными для приема данных от МКА являются первые часы после запуска, когда отсутствует информация по орбитальным параметрам в базе данных американской системы NORAD.

Для внешне траекторных измерений МКА в бюджетных проектах используют радиосигнал, который передается по командной или телеметрической радиолинии, что упрощает аппаратную реализацию и стоимость измерительной системы. Также для следящих антенных систем используются данные по их углам наведения (азимут и угол места) на МКА. Наземные станции управления и приема МКА могут объединяться совместно с радиолюбительскими станциями приема в международной сети по приему данных МКА для более эффективной работы. Это позволяет эффективно использовать ресурсы большого количества станций не только для приема информации с МКА, но и по проведению внешне траекторных измерений его орбитальных параметров.

В БГУ в рамках проекта «Разработка и создание научно-образовательной сети приема и обработки информации с образовательных космических аппаратов» разрабатывается экспериментальный обра-

зец научно-образовательной станции приема (НСП) с МКА с системой НБО. Такие НСП могут работать с реальными МКА, принимая и обрабатывая телеметрию МКА и проводя измерения орбитальных характеристик по принимаемым радиосигналам и данным телеметрии. Запланирована разработка трех НСП, оснащенных системой НБО с временной синхронизацией и возможностью разнесения по территории Республики Беларусь. Одна НСП, оснащенная полным комплектом приемопередающего оборудования и следящими поворотными устройствами антенных систем, будет стационарной, а две другие НСП с минимальным количеством оборудования (всенаправленная антенна, система приема на основе модуля SDR радиоприемника и управляющий ПК на основе ноутбука) будут мобильными, с возможностью изменять географию приема. Предполагается подключение данной сети к международной сети по приему данных МКА, что позволит проводить обмен данными телеметрии и наблюдений за МКА с большим числом НСП, разнесенных по всему миру, и улучшить процесс обработки данных и решения задач определения параметров движения МКА.

В работе разработан экспериментальный образец НСП МКА, который содержит: 14- и 32-элементную антенны типа волновой канал с круговой поляризацией радиоловительского диапазона 435–438 МГц; систему приема и управления на основе трансивера IC-9100 с внешним усилителем и систему приема на основе модуля SDR радиоприемника; поворотное устройство YAESU G-5500 с дополнительным блоком датчиков определения ориентации; блок управления поворотными устройствами; интерфейс управления поворотным устройством; управляющий ПК и элементы наземной системы БНО - GPS модуль для временной синхронизации приемных станций; контроллер обработки времени; модуль измерения частоты радиосигналов.

Радиосигналы телеметрии, принимаемые системой приема на основе модуля SDR радиоприемника, после выхода усилителя НАВ-FPA434 поступают в контроллер обработки времени и модуль измерения частоты. Радиосигналы телеметрии и ответных команд, принимаемых системой приема на основе трансивера IC-9100, после модуля внешнего усилителя мощности поступают в контроллер обработки времени и модуль измерения частоты. На вход контроллера обработки времени с GPS модуля для временной синхронизации НСП поступают импульсные сигналы «1PPS», синхронизированные со шкалой системного времени навигационной системы ГЛОНАСС или GPS. С выхода контроллера обработки времени с GPS модуля для временной синхронизации приемных станций в управляющий ПК передается время принимаемых радиосиг-

налов и текущий отсчет времени для дальнейшей обработки программным обеспечением (ПО) НБО МКА. На выходе модуля измерения частоты формируются доплеровский сдвиг, принимаемых радиосигналов, привязанный к текущему отсчету времени, который также передается в управляющий компьютер для дальнейшей обработки ПО НБО определения орбит МКА. На текущий отсчет времени интерфейс управления поворотным устройством передает данные по углу места и азимуту антенных систем. Таким образом, ПО НБО определения орбит МКА для каждого текущего отсчета времени на интервале пролета и приема радиосигналов от МКА имеет массивы данных по углу места и азимуту, доплеровскому сдвигу принимаемых радиосигналов, а также времени приема радиосигналов. Эта информация является избыточной для НБО орбит МКА и поэтому решения задачи определения орбит можно проводить как детерминированными, так и статистическими методами.

Задача определения орбитальных характеристик МКА решается как при беззапросных сеансах связи между МКА и НСП (при передаче телеметрии на НСП) так и при запросных сеансах связи (при проведении баллистических измерений и проведении управления по командной радиолинии от НСП). Определения орбит МКА система НБО может проводить как с первоначально известными, так и неизвестными начальными параметрами орбиты. При измерениях орбит МКА с первоначально известными начальными параметрами орбит основной решаемой задачей является проверка параметров орбиты и их уточнение. При измерениях орбит МКА с первоначально неизвестными начальными параметрами орбит необходимо использовать всенаправленный азимутальный режим поиск радиосигнала и оценку начального вектора состояния МКА.

Таким образом, разрабатываемая сеть наземных станций приема телеметрии малых космических аппаратов позволит снизить стоимость построения наземных станций, расширить географию приёма телеметрии спутников околоземной орбиты, увеличить количество принимаемой и обрабатываемой информации, качественно повысить уровень подготовки специалистов, а также проводить отработку комплекса новых перспективных задач, связанных с разработкой МКА.

1. *Фортеская П., Суайнерда Г., Старка Д.* Разработка систем космических аппаратов. Москва : Альпина Паблицер, 2017. 762 с.
2. *Kestilä A., Tikka T., Peitso P. et al.* // Geoscientific Instrumentation Methods and Data Systems. 2013. Vol. 2. P. 121–130.