

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ СТАНЦИИ ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ С МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Спиридонов А. А., Саечников В. А., Ушаков Д. В., Черный В. Е.

Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Рассматриваются научно-образовательные станции приема и обработки информации с малых космических аппаратов, режимы их работы, описывается функциональная схема наземной системы баллистико - навигационного обеспечения университетского МКА при проведении измерений в сеансах связи по принимаемым сигналам телеметрии.

Одной из отличительных особенностей малых космических аппаратов (МКА) являются использование простейших станций приема и обработки информации, а также наземного комплекса управления полетом на базе персональных компьютеров. Так для управления, приема и обработки данных МКА создаются собственные малогабаритные комплексы управления, которые осуществляют оперативно-техническое руководство циклом работ по приему и обработке телеметрической и научной информации, управлению полетами. Каждый отдельный университет, практикующий работу с образовательными МКА, как правило, имеет свой центр управления полетом (ЦУП). В подобном ЦУПе используется серийная недорогая (характерная стоимость 50–75 тыс. евро) радиолюбительская аппаратура и свободно распространяемое программное обеспечение. В качестве базовой радиостанции используется трансивер ICOM-9100 или аналогичный трансивер с управлением от компьютера. То же относится к направленной антенной системе, например, «волновой канал», которая строится из недорогих массовых радиолюбительских компонент. В Центре аэрокосмического образования БГУ разработан учебный комплекс управления и связи с МКА, который наряду с управлением, приемом и обработкой данных, решает задачи отработки надежности, работоспособности и живучести нового оборудования и подготовки специалистов аэрокосмической отрасли.

Для МКА, разрабатываемых небольшой фирмой, университетом или группой фирм и университетов актуальным встает вопрос не только о приеме данных телеметрии и научной аппаратуры малым количеством наземных станций, но и о баллистико-навигационном обеспечении полета космического аппарата. Решение этого вопроса связано с оптимальным использованием и комплексированием доступных и недорогих оптических и радиотехнических методов измерения траектории и параметров движения МКА. Но чаще всего для данных проектов задачи баллистико-навигационном обеспечении полета космического аппарата (КА) решаются с помощью базы данных системы NORAD, которая представляет данные об усредненных параметрах орбиты КА с возможностью прямой работы с этими данными только в рамках моделей возмущенного движения SGP (для ближнего космоса) и SDP (для дальнего космоса). В этом случае точность определения орбитальных параметров имеет порядок 1 км, что при решении некоторых задач является недостаточной. Реже на борту МКА устанавливается доработанный коммерческий навигационный приемник, который работает в прерывистом режиме из-за ограниченности бюджета системы электроснабжения, и выдает данные по координатам и скорости с точностью от десятков до сотен метров (по координатам), имеет достаточно большое время холодного старта, и его работа сильно зависит от точности стабилизации МКА.

Основными видами внешнетраекторных измерений применяемые для определения орбит МКА являются радиотехнические и оптические. Каждый вид измерений имеет свои преимущества и недостатки. Радиотехнические измерения могут быть проведены при любых погодных условиях на значительных удалениях МКА от базисных точек. Но они возможны при условии прямой видимости аппарата из базисных точек, их проведение вблизи Земли предполагает учет рефракции и рассеяния радиоволн, активная радиолокация связана с дорогостоящей аппаратурой, а пассивные радиотехнические методы возможны лишь при излучении летательным аппаратом сигнала. В спутниковых системах внешнетраекторных измерений часто этот сигнал передается по командной или телеметрической радиолинии, что упрощает аппа-

ратную реализацию и стоимость измерительной системы. Оптические методы просты в осуществлении, требуют менее дорогостоящую аппаратуру и обладают приемлемой точностью. Но также, как и радиотехнические измерения возможны при условии прямой видимости аппарата из базисных точек, их проведение вблизи Земли предполагает учет рефракции и рассеяния. Главным недостатком оптических измерений являются ограничения по времени суток и по погоде. Работать они могут только в ночные часы и только при отсутствии облачности.

В рамках проекта «Разработка и создание научно-образовательной сети приема и обработки информации с образовательных космических аппаратов» разрабатывается экспериментальный образец научно-образовательные станции приема и обработки информации с малых космических аппаратов, экспериментальный образец наземной системы баллистико-навигационного обеспечения университетских МКА, которые будут работать с реальными МКА, принимая и обрабатывая телеметрию уже существующих малых космических аппаратов и проводя измерения орбитальных характеристик по принимаемым сигналам и данным телеметрии (в настоящее время около сотни МКА передают телеметрию доступную для радиолюбителей). Запланирована разработка трех наземных станций приема данных университетских МКА, оснащенных системой баллистико-навигационного обеспечения с временной синхронизацией приемных станций и возможностью разнесения по территории Республики Беларусь; Для решения задачи оперативного приема и обработки будет разработано программное обеспечение (ПО) приема и обработки данных телеметрии, в том числе и для решения задачи определения орбитальных параметров КА, а также ПО баллистико-навигационного обеспечения (БНО) университетских МКА.

Предполагается подключение данной сети к международной сети станций приема университетских спутников, что позволит проводить обмен данными телеметрии с большим числом наземных станций разнесенных по всему миру и улучшить процесс обработки данных и решения задач определения параметров движения МКА. В настоящее время любительская радиостанция БГУ, входящая в состав учебного комплекса управления и связи с МКА БГУ уже активно участвует в работе международной сети станций приема любительских и университетских МКА «Satnogs». Научно-образовательные станции приема и обработки информации с малых космических аппаратов также планируются к использованию в качестве резервного канала связи с наноспутником БГУ. Они позволяют: принимать и обрабатывать данные существующих малых космических аппаратов; обмениваться информацией между станциями международной сети станций приема любительских и университетских МКА «Satnogs»; проводить измерения характеристик движения космического аппарата (центра масс и углового движения) по принимаемым сигналам и данным телеметрии наноспутника БГУ и существующих МКА; проводить полетную калибровку датчиков системы ориентации наноспутника БГУ, улучшая точность определения положения и работу алгоритмов стабилизации.

Экспериментальный образец научно-образовательной станции приема и обработки информации с МКА состоит из комплекта элементов, узлов и программных средств: источников питания; модулей приемных усилителей и частотных фильтров АФУ (антенно-фидерных устройств); модулей SDR радиоприемника; узлов и элементов молниезащиты и заземления; антенн радиолучительского диапазона; поворотных устройства с дополнительным блоком датчиков определения ориентации (магнитометр, акселерометр, датчик угловой скорости, контроллер управления); контроллеров для антенных систем; анализаторов сигналов антенн; GPS модуля для временной синхронизации приемных станций; портативной радиостанции радиолучительского диапазона; управляющего компьютера; лицензионного программного обеспечения слежения и управления поворотными устройствами; лицензионной операционной системы реального времени; программного модуля для расчета возмущающих ускорений: от гравитационного потенциала Земли, торможения атмосферы, от солнечного давления, от гравитационного взаимодействия с Солнцем и Луной; ПО прогнозирования движения космического аппарата на основе моделей возмущенного движения SGP с начальными данными в

формате TLE; ПО численного моделирования движения КА на основе интегрирования уравнений движения методом Эверхарта различного порядка; ПО для наземной системы связи с университетскими МКА; ПО наземной системы БНО университетских МКА.

При прохождении КА относительно научно-образовательных станций приема и обработки информации (НСП) между КА и НСП происходят сеансы связи, которые могут быть как запросные (при проведении баллистических измерений и проведении управления КА по командной радиолинии), так и беззапросные (при передаче от КА на НСП телеметрии, при проведении баллистических измерений). Сеансы связи между КА и НСП по функциональному признаку могут быть: сеанс управления КА; сеанс приема телеметрии, сеанс проведения баллистических измерений. По радиолинии НСП – КА передается радиосигнал от НСП к КА, содержащий пакет команд управления бортовыми системами в сеансе управления КА или измерительный радиосигнал в сеансе проведения баллистических измерений. По радиолинии КА – НСП от КА к НСП приходит радиосигнал, содержащий пакет ответных квитанций команд управления в сеансе управления; радиосигнал, содержащий пакет телеметрии бортовых систем КА в сеансе приема телеметрии или измерительный радиосигнал в сеансе проведения баллистических измерений. При этом телеметрия бортовых систем КА передается при любых прохождении КА относительно НСП. В то время как сеанс баллистических измерений проводится как в беззапросном режиме по измерениям параметров радиосигнала телеметрической радиолинии и параметров следящих систем антенных систем, так и при запросе на КА по командной радиолинии для передачи и приема специальных измерительных радиосигналов. Эти измерения могут проводиться на орбите одного прохождения КА как одномоментно (в одной точке орбиты), так и многомоментно в нескольких точках орбиты. Также эти измерения могут проводиться на нескольких последовательных орбитах прохождения КА для орбит первого и второго прохождения КА относительно наземных станций приема данных университетских МКА.

Функциональная схема наземной системы БНО университетского МКА, включающей систему удаленного доступа и обмена контрольно-измерительной информацией при проведении измерений в беззапросных сеансах связи между КА и НСП по принимаемым сигналам телеметрии представлена на рис.1. При беззапросных сеансах связи по телеметрической радиолинии КА – НСП от КА к НСП приходят радиосигналы Π_i с известной несущей частотой f и известным интервалом следования τ , содержащие пакеты телеметрии бортовых систем КА. На наземных станциях приема и обработки информации университетских МКА НСП 1, НСП 2, НСП 3, оснащенные системой НБО с временной синхронизацией приемных станций измеряются время приема радиосигнала i -го пакета телеметрии t_{1ni} , t_{2ni} , t_{3ni} доплеровский сдвиг частоты несущей Δf_{1i} , Δf_{2i} , Δf_{3i} а на основе GPS синхроимпульсов C_i интервалы времени Δt_{1ci} , Δt_{2ci} , Δt_{3ci} между приемом i -го пакета телеметрии и приемом GPS синхроимпульса. По данным интервалов времени Δt_{1ci} , Δt_{2ci} , Δt_{3ci} между приемом i -го пакета телеметрии и приемом GPS синхроимпульса происходит расчет разности наклонных дальностей от КА до НСП 1, НСП 2, НСП 3 на момент времени t_i : $D_{12}(t_i)$; $D_{13}(t_i)$; $D_{23}(t_i)$. По данным доплеровских сдвигов частоты несущей Δf_{1i} , Δf_{2i} , Δf_{3i} происходит расчет относительной радиальной скорости КА относительно НСП 1, НСП 2, НСП 3 на момент времени t_i : $V_{1r}(t_i)$; $V_{2r}(t_i)$; $V_{3r}(t_i)$.

Данные времен приема радиосигнала i -го пакета телеметрии t_{1ni} от трех НСП усредняются и среднее время $\langle t_{ni} \rangle$ приема радиосигнала i -го пакета телеметрии передается в ПО прогнозирования движения КА на основе моделей возмущенного движения SGP и ПО численного моделирования движения КА на основе интегрирования уравнений движения методом Эверхарта. ПО прогнозирования движения КА на основе моделей возмущенного движения SGP, используя усредненные орбитальные элементы КА из базы данных системы NORAD в формате TLE на время эпохи t_{TLEi} (при условии, что $\langle t_{ni} \rangle - t_{TLEi}$ меньше 24 часов) прогнозирует вектор состояния КА (R_{SGPi} , V_{SGPi}) на момент времени $\langle t_{ni} \rangle$. Аналогично ПО численного моделирования движения КА на основе интегрирования уравнений движения методом Эверхарта, используя усредненные орбитальные элементы КА из базы данных системы NORAD в формате TLE на время эпохи t_{TLEi} или уточненные орбитальные элементы КА из собственной базы данных уточненных параметров орбитального движения (ОД) на время

эпохи $t_{БДi}$ (при условии, что $\langle t_{ni} \rangle - t_{БДi}$ меньше 12 часов) прогнозирует вектор состояния КА ($R_{числi}$, $V_{числi}$) на момент времени $\langle t_{ni} \rangle$. Два вектора состояния КА (R_{SGPi} , V_{SGPi}) и ($R_{числi}$, $V_{числi}$) на момент времени $\langle t_{ni} \rangle$ сравниваются и по оценке вектора состояния КА ($R_{оценi}$, $V_{оценi}$) определяются оценки разности наклонных дальностей $D_{012}(t_i)$; $D_{013}(t_i)$; $D_{023}(t_i)$, оценки относительной радиальной скорости КА $V_{01r}(t_i)$; $V_{02r}(t_i)$; $V_{03r}(t_i)$ относительно НСП 1, НСП 2, НСП 3 на момент времени $\langle t_{ni} \rangle$ и оценки наклонной дальности $D_{01}(t_i)$ и скорости изменения наклонной дальности $\delta D_{01}(t_i)$ КА относительно НСП 1.

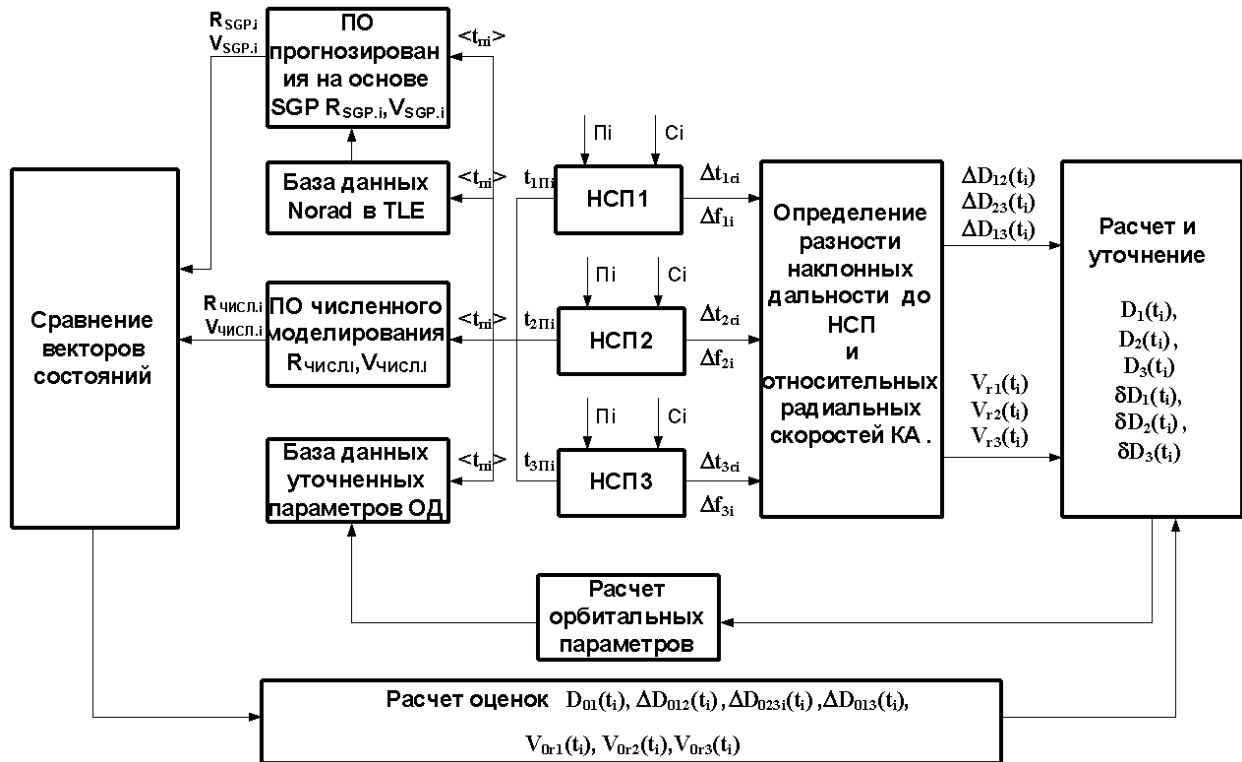


Рис.1. Функциональная схема наземной системы БНО университетского МКА при проведении измерений в беззапросных сеансах связи между КА и НСП по принимаемым сигналам телеметрии

По данным оценки наклонной дальности $D_{01}(t_i)$ и скорости изменения наклонной дальности $\delta D_{01}(t_i)$ КА относительно НСП 1, оценки разности наклонных дальностей $D_{012}(t_i)$; $D_{013}(t_i)$; $D_{023}(t_i)$, оценки относительной радиальной скорости КА $V_{01r}(t_i)$; $V_{02r}(t_i)$; $V_{03r}(t_i)$ относительно НСП 1, НСП 2, НСП 3 на момент времени $\langle t_{ni} \rangle$ и расчетным данным разности наклонных дальностей $D_{12}(t_i)$, $D_{13}(t_i)$, $D_{23}(t_i)$ от КА до НСП 1, НСП 2, НСП 3, относительной радиальной скорости КА $V_{1r}(t_i)$, $V_{2r}(t_i)$, $V_{3r}(t_i)$, полученным по экспериментальным измерениям из на момент времени t_i происходит расчет и уточнение наклонных дальностей $D_1(t_i)$, $D_2(t_i)$, $D_3(t_i)$ и скоростей изменения наклонных дальностей $\delta D_1(t_i)$, $\delta D_2(t_i)$, $\delta D_3(t_i)$ КА относительно НСП 1, НСП 2, НСП 3. Окончательно по наклонным дальностям $D_1(t_i)$, $D_2(t_i)$, $D_3(t_i)$ и скоростям изменения наклонных дальностей $\delta D_1(t_i)$, $\delta D_2(t_i)$, $\delta D_3(t_i)$ КА относительно НСП 1, НСП 2, НСП 3 происходит расчет орбитальных параметров КА, которые записываются в собственную базу данных уточненных параметров орбитального движения КА.

Разработка научно-образовательной сети станций приема и обработки информации с малых космических аппаратов является перспективным и инновационным для Республики Беларусь направлением космической деятельности. Это позволит самостоятельно проводить управление классом малых космических аппаратов, проводить прием и обработку телеметрической информации и данных научной аппаратуры, обрабатывать регламентные работы с КА, проводить траекторные измерения и определения орбитальных параметров МКА. Кроме того, результаты работы по проекту могут быть использованы в других перспективных проектах Республики Беларусь по созданию оборудования для малых космических аппаратов и при обучении студентов аэрокосмических специальностей технологиям управления КА, приема его телеметрии, проведения внешнетраекторных измерений, определения орбит.