

Отработка методов верификации данных навигационного приёмника малого космического аппарата

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

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: sansan@tut.by

В настоящее время, в связи с повышением уровня сложности научных задач, к малым космическим аппаратам (МКА) предъявляются жесткие требования в части точности определения положения спутника на орбите. Для обработки данных научной аппаратуры, датчиков телеметрии, цифровых камер МКА, необходима их точная навигационно-временная привязка. Для этого на борту МКА используют навигационный приемник.

Выбор навигационного приёмника должен быть обоснован проектировщиком космического аппарата. Это можно сделать с помощью моделирования работы, функционального тестирования и проведения испытаний на симуляторах, для того чтобы проверить соответствие навигационного приемника требованиям миссии. В начале эксплуатации МКА (в первый месяц полёта) проводят тестирование работоспособности навигационного приёмника. Управление осуществляется по командной радиолинии. Наземный комплекс передаёт на МКА пакеты команд управления, содержащие управляющие кадры двоичного протокола для навигационного приёмника. По телеметрической радиолинии от МКА на наземный комплекс управления передаются пакеты телеметрии, содержащие как решение задачи навигационно-временного определения (НВО), так сырые измерения. На основе начальных данных в формате *TLE (two-line elements* – двухстрочный набор элементов) или данных внешнетраекторных измерений орбиты МКА станциями слежения рассчитывается вектор состояния на моменты измерений, определяются ошибки в показаниях навигационного приёмника и анализируется достоверность решений задачи НВО. В течение начального периода работы набирается статистика работы навигационного приёмника МКА как по отдельным созвездиям *GPS* и ГЛОНАСС, так и при их совместной работе.

Коррекция ошибок в показаниях навигационного приёмника МКА может быть осуществлена при совместной наземной обработке сырых измерений бортового навигационного приёмника (псевдодальности, псевдоскорости, фазовых измерений) и высокоточных эфемерид и поправок бортовых часов НКА систем ГЛОНАСС и *GPS*, которые находятся в свободном доступе на сайте ИАЦ КВНО ФГУП ЦНИИмаш.

В процессе решения задач баллистики планирования и проведения операций управления МКА на стадии его эксплуатации необходимо решать вопросы по верификации измерительных данных бортового навигационного приёмника с данными моделирования орбитального движения по усредненным орбитальным параметрам МКА в формате *TLE* американской системы *NORAD* (*North American Aerospace Defense Command* – Командование воздушно-космической обороны Северной Америки). Данные системы *NORAD* получаются путем усреднения большого числа измерений наземных станций слежения системы контроля космического пространства и для МКА обновляются несколько раз в сутки, что позволяет считать эти данные достоверными и независимыми от измерений навигационного приёмника. Для отработки методов верификации экспериментальных данных навигационного приемника наноспутника БГУ *CubeBel-1*, предварительно проведено исследование работы навигационного приемника наноспутника *Nsight* по данным принимаемой телеметрии от начала его полёта до момента выхода в стабильный режим работы.

На рисунках 1–2 показаны рассчитанные графики ошибки измерения высоты, широты и долготы наноспутник *Nsight*, полученные с помощью бортового навигационного приёмника по сравнению с расчётными данными, полученными по модели возмущенного движения *SGP* (*Simplified General Perturbations* – упрощенная модель общих возмущений), на основе усреднённых орбитальных параметров МКА в *TLE*- формате за 08.08.2017 г. (рис. 1) и за период 31.12.2017–06.01.2018 г. (рис. 2).

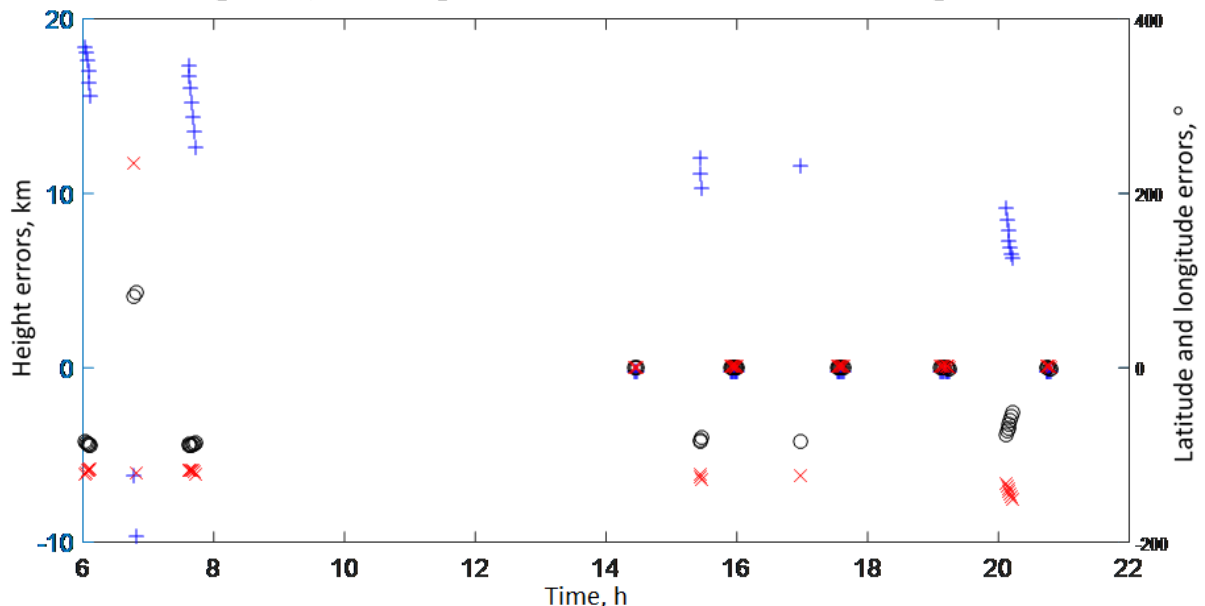


Рис. 1. Динамика изменения ошибки измерения высоты (x), широты (o) и долготы (+) наноспутника *Nsight* с помощью бортового навигационного приёмника по сравнению с расчётными данными за 08.08.2017 г.

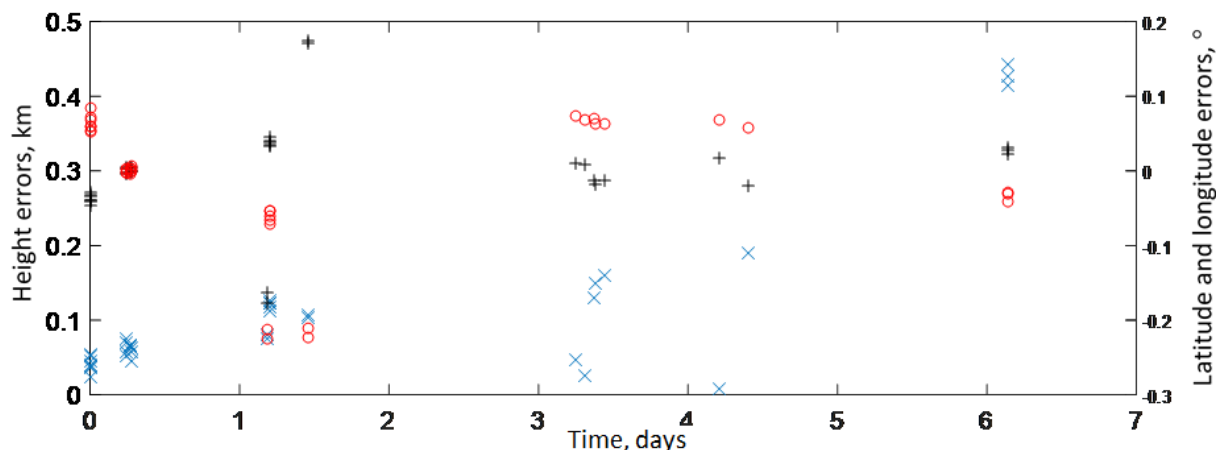


Рис. 2. Динамика изменения ошибки измерения высоты (x), широты (o) и долготы (+) наноспутника *Nsight* с помощью бортового навигационного приёмника по сравнению с расчётными данными за период 31.12.2017– 06.01.2018

Как видно из рисунка 1 в первые три месяца работы бортовой навигационный приёмник наноспутника *Nsight* работал нестабильно. Данные телеметрии бортового навигационного приемника наноспутника *Nsight* за 08.08.2016 г. имели существенную ошибку. Навигационный приёмник программно настраивался и корректировался, работал нестабильно, так как ошибки измерения долготы и широты постоянно «уплывали» и достигали предельных значений 400 и 100° соответственно. После программной корректировки бортового навигационного приёмника ошибка данных телеметрии бортового навигационного приёмника по измерениям долготы и широты за период 31.12.2017– 06.01.2018 г., как видно рисунка 2, по сравнению с расчётными данными не превышала 0,2° и навигационный приёмник работал стабильно в течение всей недели наблюдения. Максимальные ошибки по высоте уменьшились с 10 км до 400 м.

Таким образом, исследована работа навигационного приемника наноспутника *Nsight* по данным принимаемой телеметрии от начала его полета до момента выхода в стабильный режим работы. Показано, что для верификации экспериментальных данных наноспутника *CubeBel-1* можно использовать расчётные данные, полученные по модели возмущенного движения *SGP* на основе усреднённых орбитальных параметров в *TLE*- формате. Результаты моделирования могут быть использованы при разработке плана полёта малого космического аппарата с навигационным приёмником.