

УДК 002.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СВЕРХМАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А.А. Спиридонов, В.А. Саечников, И.А. Шалатонин

Рассмотрено моделирование движения сверхмалого космического аппарата. Описана отработка проектной баллистики и баллистики планирования и управления.

Ключевые слова: сверхмалый космический аппарат, проектная баллистика, баллистика планирования и управления, модели, алгоритмы, программное обеспечение

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие в Европейском космическом агентстве, России и странах СНГ, Великобритании, Германии, США, Швеции и других странах ведутся интенсивные работы в области разработки сверхмалых космических аппаратов. Для университетов с ограниченным на проект бюджетом, отсутствием своей производственной базы, ограниченным ресурсом высококвалифицированных кадров, создание собственного сверхмалого малобюджетного космического аппарата на основе коммерческих комплектующих дает возможность студентам на практике принять участие во всех этапах проекта - от проектирования до обработки данных телеметрии и научной аппаратуры.

В настоящее время, в связи с повышением уровня сложности научных задач, к сверхмалым космическим аппаратам предъявляются жесткие требования в части точности описания его движения, ориентации и стабилизации положения спутника на орбите. Это связано с повышением разрешающей способности измерительной аппаратуры и систем наблюдения Земли и космоса. При этом на системы спутника параллельно накладываются ограничения по массе, габаритам и потребляемой мощности.

Точность прогнозирования движения, измерений пространственной ориентации сверхмалого космического аппарата обусловлена не только точностью бортовых датчиков, но и точностью математических моделей и алгоритмов, положенных в основу программного обеспечения.

ОТРАБОТКА НАВИГАЦИОННО-БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТА

В ходе выполнения НИР программы Союзного государства Мониторинг-СГ в Белорусском государственном университете разрабатывается программно-аппаратный комплекс отработки сверхмалых космических аппаратов, который будет предназначен для отработки управления малыми и сверхмалыми космическими аппаратами, проведение экспериментов по отработке надёжности, работоспособности и живучести оборудования комплекса управления, бортового оборудования и аппаратуры целевой нагрузки.

Основу системы навигационно-баллистического обеспечения полета программно-аппаратного комплекса отработки составляет АРМ оператора навигационно-баллистического обеспечения полета космического аппарата. Система решает задачи отработки приема и обработки баллистико-навигационной информации для определения положения центра масс и углового положения космического аппарата (КА); прогнозирования параметров движения центра масс и элементов орбиты КА; прогнозирования параметров углового движения КА; моделирования трассы полета и зон радиовидимости наземных средств; моделирования расчета освещенности КА и поверхности Земли; обеспечения АРМ оператора обработки информации телеметрии, АРМ оператора анализа и управления космическим аппаратом стандартной баллистической информацией (расчет трассы полета на поверхности Земли, расчет освещенности КА и подспутниковой территории, расчет времени существования КА); отработки выдачи в АРМ оператора анализа и управления космическим аппаратом и начальных условий движения центра масс; отработки расчета данных импульсов коррекции для поддержания расчетных параметров орбиты КА; согласования моделей движения КА.

При отработке навигационно-баллистического обеспечения полета КА можно выделить два направления: отработка проектной баллистики и отработка баллистики планирования и управления КА. Состав задач проектной баллистики обусловлен необходимостью определить сам облик аппарата и основные требования к системам аппарата.

Функциональная схема отработки проектной баллистики представлена на рис. 1.

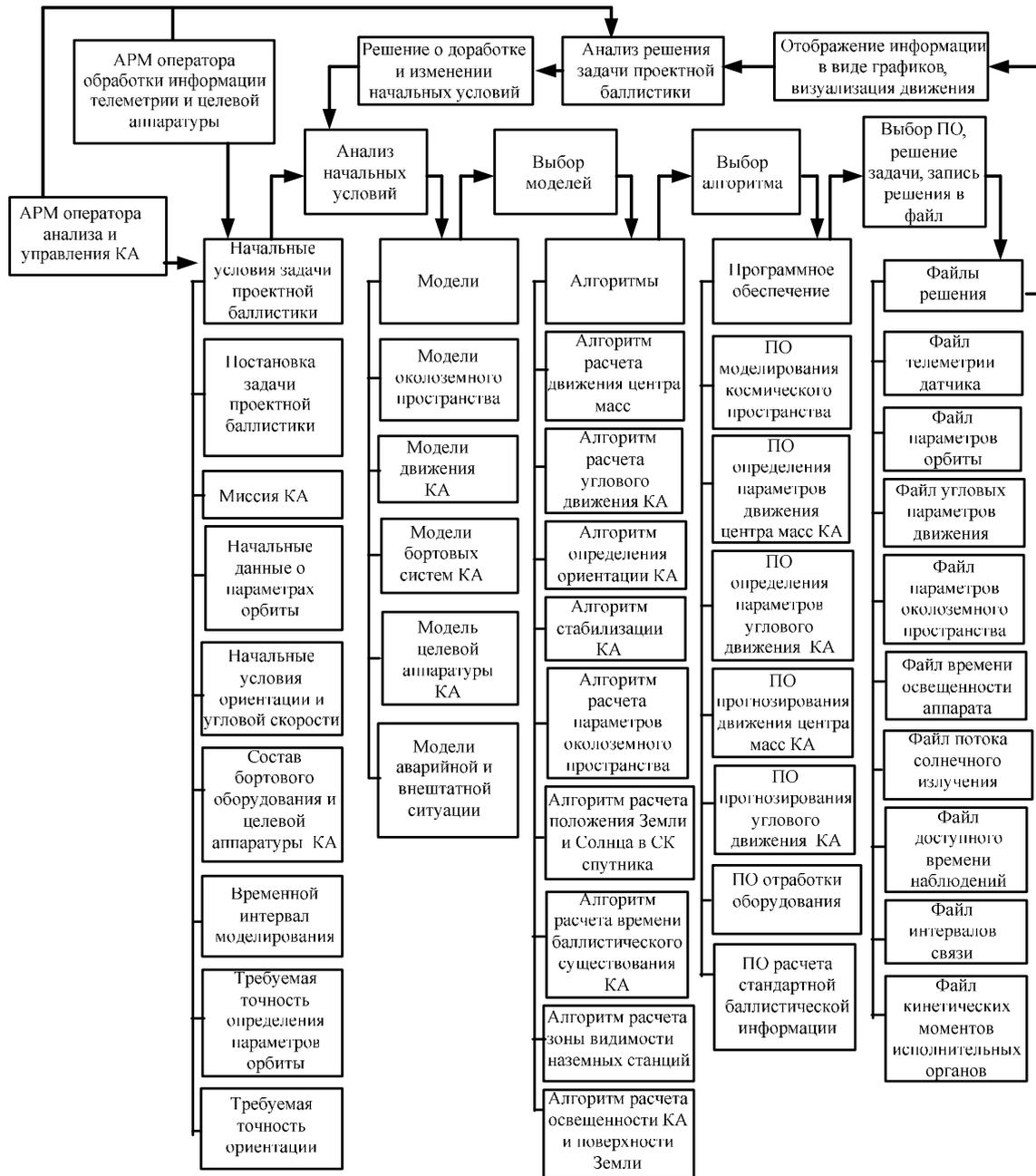


Рис. 1 Функциональная схема отработки проектной баллистики

В ходе проектирования КА проводится анализ: миссии КА; состава бортового оборудования и целевой аппаратуры КА; начальных данных о параметрах орбиты; начальном условии ориентации и угловой скорости КА; заданного временного интервала моделирования задачи; требуемой точности определения параметров орбиты; требуемой точности ориентации; поставленной задачи проектной баллистики.

После чего задаются различные модели околоземного пространства, движения КА, бортовых систем КА, модели аварийной и внештатной ситуации.

Наиболее существенными из них являются:

- модели околоземного пространства: модель гравитационного поля Земли, модель гравитационных полей Солнца и Луны, модель атмосферы Земли, модель солнечного давления, модель магнитного поля Земли, модель солнечной активности;
- модели движения КА: модель движения центра масс КА, модель движения относительно центра масс КА;

- модели бортовых систем КА: модель системы электроснабжения, модель системы управления КА (модель бортового компьютера, модель интерфейсов, модель шин данных), модель системы ориентации и стабилизации КА (модели датчиков ориентации, модели исполнительных органов системы ориентации);

- модели аварийной и внештатной ситуации: отказ телеметрической радиолинии; отказ программного обеспечения бортового компьютера; отказ программного обеспечения системы ориентации и стабилизации; отказ датчиков точной ориентации; отказ исполнительных органов; отказ математического обеспечения системы управления исполнительными органами; отказ программного обеспечения бортовой навигационной системы.

Затем на основе выбранных моделей определяются алгоритмы решения конкретной задачи проектной баллистики и программное обеспечение ее численной реализации задачи. Завершающими этапами является запись решения в файлы (например файл телеметрии датчика; файл параметров орбиты; файл угловых параметров движения; файл доступного времени наблюдений; файл интервалов связи; файл кинетических моментов исполнительных органов и т.д.), отображение информации в виде графиков, визуализация движения и анализ решения задачи проектной баллистики. После чего принимается решение о доработке и изменении начальных условий, составе и параметрах бортового оборудования и целевой аппаратуры, моделей, алгоритмов, программного обеспечения.

В ходе отработки баллистики планирования и управления КА решаются задачи навигационно-баллистического обеспечения навигационно-баллистического обеспечения (НБО) на борту имитатора космического аппарата и в АРМ навигационно-баллистического обеспечения полета КА.

В систему управления, сбора и обработки данных имитатора космического аппарата записываются математические программы для решения задач НБО на борту. По входным данным, моделирующим работу датчиков ориентации и навигации определяются орбитальные параметры. А затем по вектору состояния КА система управления, сбора и обработки или АРМ навигационно-баллистического обеспечения полета КА рассчитывает необходимые навигационные параметры для работы системы навигации и ориентации. Решения записываются в файл и если расчет проводился на борту, то оно включаются в состав телеметрических данных, передаваемых на КДУ для последующего анализа.

При отработке баллистики планирования и управления КА, как показано на рис.2, в АРМ навигационно-баллистического обеспечения полета КА из базы данных поступают TLE параметры орбиты КА, а от АРМ оператора обработки информации телеметрии и целевой аппаратуры поступают данные датчиков навигации и датчиков ориентации. После чего осуществляется расчет текущего вектора состояния и углового движения КА. Текущие навигационные параметры записываются в файл и передаются в базу данных, а также являются начальными условиями для прогноза навигационных параметров движения центра масс КА и для работы системы ориентации. Прогнозируемые навигационные параметры напрямую передаются в АРМ оператора анализа и управления КА и используются для выбора операций, интервалов и параметров управления коррекции орбиты и управления ориентацией КА. АРМ навигационно-баллистического обеспечения полета КА выдает АРМ оператора анализа и управления КА заявку на выдачу управляющих импульсов коррекции орбиты и управляющих кинематических моментов. АРМ оператора анализа и управления КА выдает пакет управляющих команд для передачи на имитатор КА совместно с прогнозируемыми навигационными параметрами, необходимых для работы системы управления ориентацией, если бортовая система не может выполнить эти функции. После отработки команд управления имитатор КА передает телеметрию датчиков навигации и ориентации, которая расшифровывается в АРМ оператора обработки информации телеметрии и целевой аппаратуры и после обработки передается в АРМ навигационно-баллистического обеспечения полета КА для проверки работы бортовой навигационной системы.

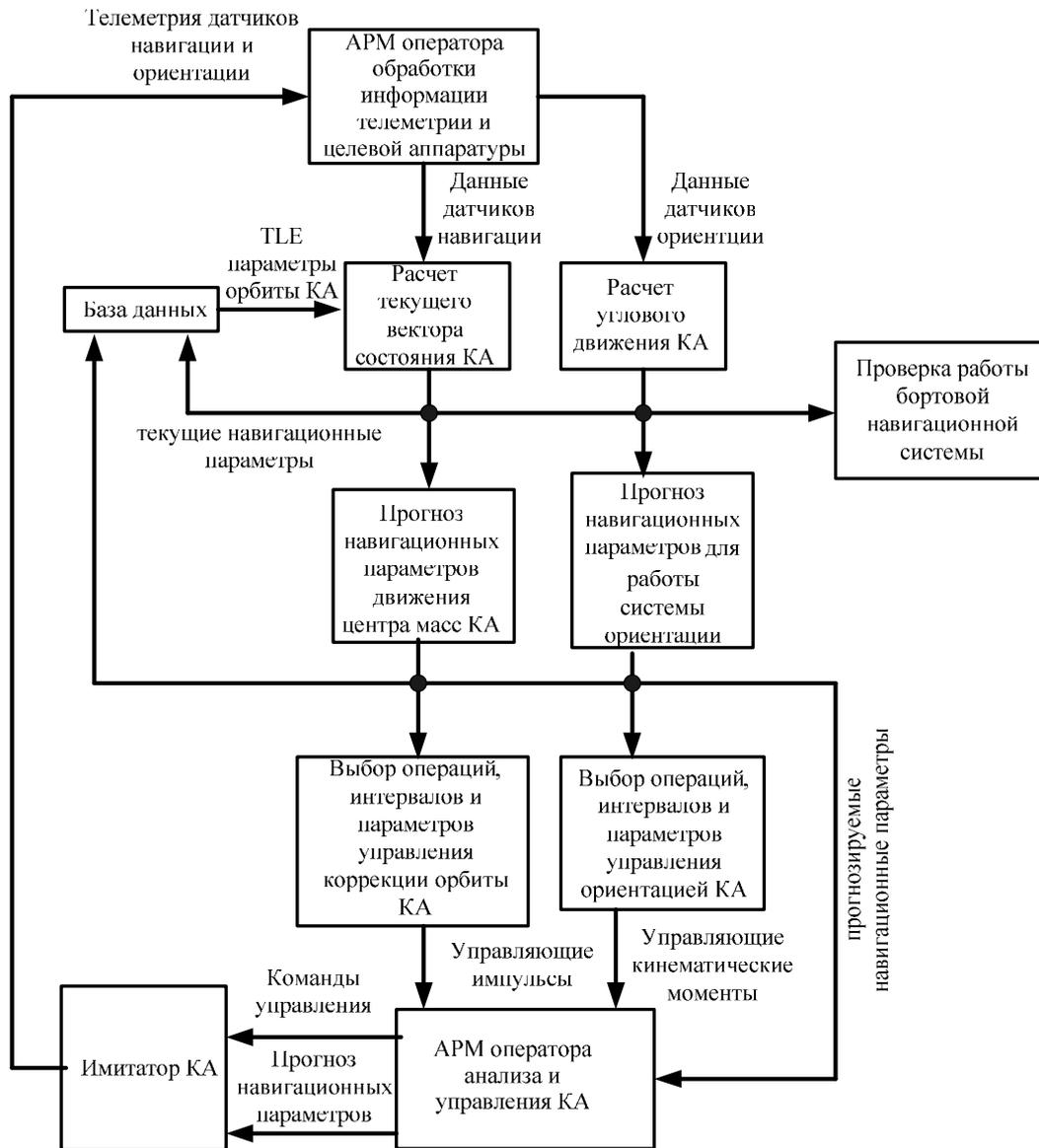


Рис. 2 Функциональная схема обработки баллистики планирования и управления КА

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отработка навигационно-баллистического обеспечения полета и моделирование движения сверхмалого космического аппарата позволит повысить надёжность, работоспособность и живучесть бортового оборудования и целевой аппаратуры.

SMALL SATELLITE MOTION MODELLING

A. A. Spiridonov, V. A. Sayechnikov, I. A. Shalatonin

Small satellite motion modelling is considered. Designing ballistics and planning and satellite control ballistics are described.

Keywords: ultra-small spacecraft, design and ballistics, ballistics planning and management, models, algorithms, software