



УДК 629.7.051

**¹А. А. Горчаковский, ¹В. В. Евстратко,
¹А. В. Мишуров, ¹С. П. Панько, ²С. А. Рябушкин,
¹В. В. Сухотин, ²В. А. Шатров**

¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия
²АО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М. Ф. Решетнёва»,
г. Железногорск, Красноярский край, Россия

ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ СОЗДАНИЯ КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рассмотрены особенности работы командно-измерительных систем, обеспечивающих управление системами и узлами космических аппаратов, а также предоставление телеметрической информации о состоянии и выполняемых функциях систем и узлов космического аппарата, формирующей у персонала наземного комплекса управления адекватную оценку жизнедеятельности космической миссии.

Ключевые слова: космический аппарат, командно-измерительная система космического аппарата, командная и телеметрическая информация.

**¹A. A. Gorchakovskiy, ¹V. V. Evstratko,
¹A. V. Mishurov, ¹S. P. Panko, ²S. A. Ryabushkin,
¹V. V. Sukhotin, ¹V. A. Shatrov**

¹Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation
²JCS «Academician M. F. Reshetnev» Information satellite systems»,
Zheleznogorsk, Russian Federation

TASKS AND THEIR SOLUTIONS IN THE PROCESS OF DEVELOPING CONTROL AND MEASUREMENT SYSTEMS FOR SPACECRAFT

The features of operation of control and measurement systems, providing control systems and components spacecrafts, and the provision of telemetry information on the status and accuracy-changed the functions of the systems and components of the spacecraft, form the staff of Ground Control complex of an adequate assessment of life-activities space mission.

Key words: spacecraft, command and measuring system of spacecraft, command and telemetry information.

Космическое пространство интенсивно используется мировым сообществом, что инициируется не только насущными социальными целями, но и прогрессом в области технологий как производства, так и эксплуатации спутниковых систем. Методологический, технический и технологический прогрессы в создании космических аппаратов (КА), на-

сыщение бортовых и наземных средств информационными технологиями и коммуникационными возможностями привели к осознанию необходимости стандартизации способов обмена информацией между КА и наземными системами. Затраты на разработку и эксплуатацию космических миссий непрерывно и значительно увеличиваются, поэтому необходимы адекватные меры, уменьшающие финансовое бремя по оплате услуг космической сферы, которое в полной мере ложится

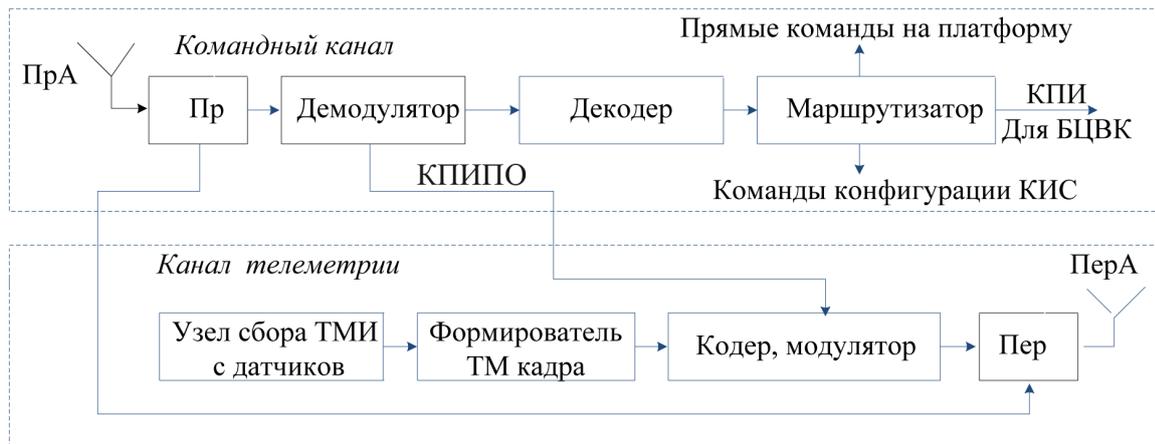


Рис. 1. Обобщенная структурная схема БА КИС

на конечных пользователей. Многие страны разработали и успешно используют собственные стандарты спутниковых технологий для координации деятельности промышленности и эксплуатирующих организаций. Поскольку спутниковые технологии являются общим достижением человечества, то возникла необходимость международного сотрудничества участников национальных космических программ. Это вылилось в создание в 1982 г. Международного консультативного комитета по системам космических данных (The Consultative Committee for Space Data Systems, CCSDS), генеральной целью которого является координация деятельности в этой сфере [1]. В CCSDS в настоящее время входят 11 национальных космических агентств, 28 стран-наблюдателей и более 140 промышленных партнеров. CCSDS является интернациональным форумом для развития стандартов систем связи, передачи данных и космических полетов. Однако актуальна задача разработки национального стандарта РФ, опирающегося на российский опыт и теоретико-прикладные разработки отечественных исследователей в этой области.

Командно-измерительная система космического аппарата (КИС КА) играет важнейшую роль в успешности осуществления миссии, возложенной на КА [2; 3]. Это относится, прежде всего, к осуществлению управления системами и приборами КА на всех этапах жизненного цикла – от проектирования, производства и предполетных испытаний, вывода на орбиту и всего срока активного существования вплоть до планового прекращения функционирования. Управление режимами работы и функциями КА осуществляется путем передачи из наземного комплекса управ-

ления (НКУ) по радиоканалу команд и полетных заданий. По ответному (телеметрическому) радиоканалу передаются квитанции об исполнении команд, отчеты о режимах работы, выполняемых функциях и телеметрические сведения о текущих параметрах бортовых узлов и систем. Бортовая аппаратура (БА) КИС поддерживает измерение параметров орбиты – текущих навигационных параметров КА, а именно дальности и скорости движения КА. Дальность КА измеряется на основе оценки задержки времени прохождения тестового сигнала по трассе НКУ – КА – НКУ за вычетом задержки в бортовой аппаратуре. Скорость движения КА, как и дальность КА, измеряется в НКУ на основе обработки сигналов, поступающих от КА.

Обобщенная структурная схема БА КИС приведена на рис. 1.

Функционально БА КИС состоит из двух информационных каналов: канала передачи командной информации на КА с НКУ и канала телеметрии – канала передачи телеметрической информации с КА в НКУ.

Командный канал работает следующим образом. На вход приемника Пр поступает сигнал с приемной антенны ПрА, сигнал демодулируется и декодируется. В маршрутизаторе производится распределение команд по назначению и организуется массив командно-программной информации КПИ в бортовой цифровой вычислительный комплекс БЦВК.

Канал передачи телеметрических данных с КА на НКУ работает следующим образом. Узел сбора телеметрической информации ТМИ обеспечивает сбор сведений от телеметрических датчиков, узлов и систем КА и КИС. Формирователь ТМ кадра обеспечивает упаковку ТМИ в телеметрический

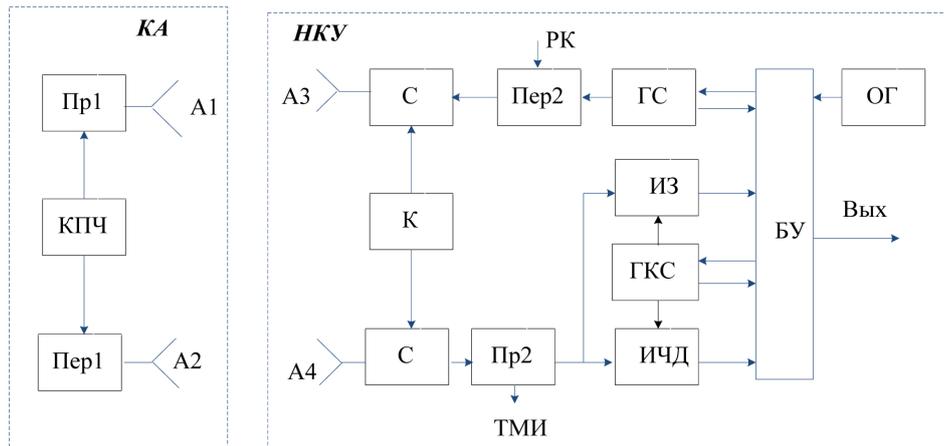


Рис. 2. Обобщенная структурная схема подсистемы ИТНП

кадр, который затем кодируется и модулирует несущую частоту. Кодирование телеметрии требуется для обеспечения надежности передачи данных. Модулированный сигнал излучается в пространство с помощью передающей антенны ПерА после преобразования и усиления в передатчике Пер. Дальномерный тоновый сигнал, принятый ПРМ, переизлучается ПРД на поднесущей частоте.

Для измерения дальности и скорости движения КА относительно НКУ предусмотрен канал передачи информации для измерения параметров орбиты КПИПО между узлами приемника Пр и передатчика Пер. Наиболее распространены методы измерения текущих навигационных параметров (ИТНП) с ретрансляцией дальномерного сигнала на борту КА, что обеспечивается непосредственной связью между Пр и Пер. Обобщенная структурная схема подсистемы ИТНП приведена на рис. 2.

Для определения радиальной дальности и радиальной скорости КА используются запросные измерения. Синхронизированный с наземным высокостабильным опорным генератором ОГ (шкалой времени) сигнал, формируемый генератором сигналов ГС, передается с помощью передающего устройства Пер2 и передающей антенны А3 НКУ. Этот сигнал принимается бортовой аппаратурой КИС. Принятый приемником КА Пр1 тестовый дальномерный сигнал подвергается когерентному преобразованию частоты в блоке КПЧ и через бортовой передатчик Пер1 и антенну А2 переизлучается на земную станцию (НКУ). Ответный сигнал, задержанный на двойное время распространения по трассе НКУ – КА и обратно, принимается антенной А4 НКУ. Измерение дальности осуществляется на основе вычисления задержки в блоке ИЗ между

принятым с КА дальномерным сигналом и его копии, сформированной в блоке ГКС – генератор копии сигнала. Доплеровское смещение частоты измеряется в блоке ИЧД – измеритель частоты Доплера F_D . Движение КА за время измерения приводит к смещению по частоте дальномерного сигнала. Для исключения этой погрешности частота ГКС искусственно подвергается смещению на измеренное значение F_D . В результате этого результат измерения в блоке ИЗ не содержит погрешности, вызванной движением КА. При этом необходим учет задержки, вносимой бортовым транспондером.

Задержка принятого дальномерного сигнала относительно переданного сигнала равна удвоенному времени распространения сигнала. В качестве формирователя опорного используется генератор копии сигнала ГКС. На наземный Пер2 поступают радиокоманды РК, а с выхода Пр2 – телеметрическая информация и ретранслированный дальномерный сигнал.

Радиальная скорость КА определяется путем измерения смещения частоты сигнала на двухпутевом участке НКУ – КА и обратно по обобщенной структурной схеме, приведенной на рис. 3. Генератор сигнала ГС, входящий в состав аппаратуры НКУ на земной станции, формирует сигнал несущей частоты F_T , который с помощью передатчика Пер2 и передающей антенны А3 передается в сторону КА, находящегося на расстоянии R . В блоках k производится когерентное преобразование частоты. Частота F_r сигнала, принятого на КА, смещена относительно частоты F_T переданного сигнала со стороны НКУ, отличается на доплеровское смещение. Аналогично на трассе КА – НКУ происходит доплеровское смещение частоты передаваемого сигнала F_r .

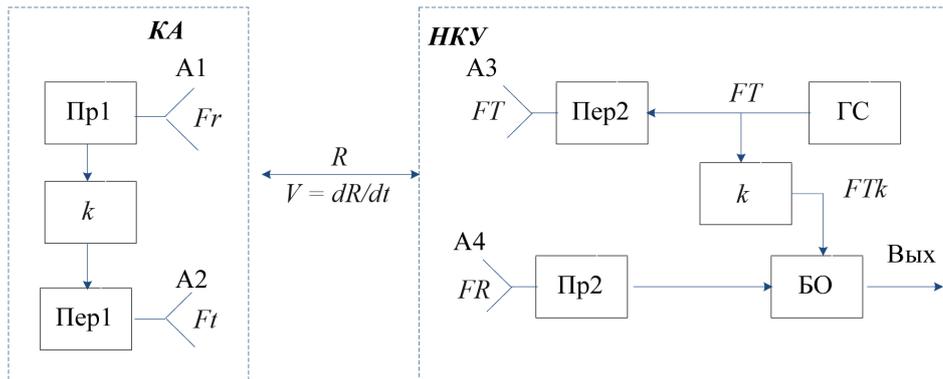


Рис. 3. Обобщенная структурная схема измерения радиальной скорости КА

Вычисление скорости КА производится в блоке обработки БО.

Радиолинии НКУ – КА и КА – НКУ являются неотъемлемой частью систем передачи программно-командной и телеметрической информации. Поэтому важными являются вопросы достоверности и скорости передачи информации по этим линиям. Взаимодействие центра управления полетом с КЦА должно происходить с исключением несанкционированного доступа в радиоканал, поскольку деструктивное вмешательство в работу КА может привести к тяжелым последствиям, вплоть до потери КА. Стандарты ESA [1] и CCSDS [2] рекомендуют использовать традиционный метод аутентификации, основанный на проверке прав пользователя на доступ к БА КИС с использованием идентификаторов. Принимаемые БА КИС идентификационные признаки сопоставляются на борту с хранящимися в бортовой памяти КА. Этот метод обладает известным недостатком, который заключается в степени защиты. Следует подчеркнуть, что направление защиты командного канала непрерывно совершенствуется и получают распространение другие подходы к решению этой задачи [4].

Представляют теоретический и прикладной интерес следующие аспекты повышения эффективности БА КИС:

- технические методы несанкционированного доступа в канал телеметрии с целью преднамеренного искажения телеметрической информации и методы борьбы с возможным умышленным искажением телеметрической информации;
- оценка эффективности размещения на КА аппаратуры GPS/ГЛОНАСС;

- разработка системы автоматического проектирования БА КИС по заданным техническим требованиям при использовании регулярно актуализируемых баз данных о выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью блоках и узлах с целью оптимизации технических и стоимостных показателей изделия;
- разработка компьютерной имитационной модели БА КИС с целью отработки новых технических решений. Практическое применение имитационной модели сократит трудовые затраты разработчиков, поскольку позволит уменьшить объем экспериментальных исследований;
- разработка автоматизированных рабочих мест по измерению и документированию параметров узлов и блоков в процессе сборочно-регулирующих процедур на этапе промышленного выпуска изделия.

Библиографические ссылки

1. The Consultative Committee for Space Data Systems, CCSDS [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.Public.CCSDS.org
2. Микрин Е. А. Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003.
3. Сыров А. С. Бортовые системы управления космическими аппаратами. М. : МАИ-Принт, 2010.
4. Critical infrastructure protection. Commercial Satellite Security Should Be More Fully Addressed. Report to the Ranking Minority Member, Permanent Subcommittee on Investigations, Committee on Governmental Affairs, U.S. Senate. August 2002.

Статья поступила в редакцию
16.10.2015 г.