

И. Н. Карцан

## НАЗЕМНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*Рассмотрены особенности применения наземного комплекса управления Центра управления полетами для малых космических аппаратов, находящихся на малых высотах в различных условиях эксплуатации.*

*Ключевые слова:* малый космический аппарат, бортовой комплекс управления, наземный комплекс управления, радиочастотный канал.

В феврале 1994 г. в интервью газете «Мегаполис-Экспресс» академик М. Ф. Решетнев отмечал, что во всем мире заметна тенденция к использованию малых низкоорбитальных спутников связи. Это объясняется, во-первых, их невысокой стоимостью, во-вторых, тем, что при наличии таких спутников потребитель будет пользоваться простыми, дешевыми терминалами. Хотя другие страны только в последнее время почувствовали вкус к низкоорбитальным спутникам, в России они эксплуатируются уже не один десяток лет.

К началу XXI в. в России был накоплен немалый опыт по запуску микроспутников. Кроме большой серии космических аппаратов (КА) «Стрела-1», «Стрела-1М», неоднократно запускались радиолюбительские космические аппараты серии «Радио» (РС), «Зея», «Можаец». И хотя не все из них работали долго и успешно, с помощью таких космических аппаратов решались интересные и важные задачи. Так, микроспутники старого поколения «Зея» и «Можаец» массой 87 кг, запущенные в марте 1997 г. и ноябре 2002 г., использовались для отработки технологий навигации, оценки влияния радиационных потоков.

Для огромной территории малые космические аппараты (МКА) интересны, прежде всего, возможностью при минимальных затратах эффективно решать задачи связи, получать оперативную информацию о лесных пожарах, миграции животных, ледоходе на реках, полезных ископаемых, экологии, природных и техногенных аномалиях. Также низкоорбитальные космические системы находят все более широкое применение благодаря минимальной задержке распространения сигнала, низкой стоимости вывода на орбиту, низкому уровню воздействия радиации, высокой надежности и др.

Низкоорбитальная спутниковая группировка занимает определенную нишу в космическом пространстве (рис. 1), и ее баллистическое построение обеспечивает однократное покрытие области действия системы. При этом минимальный угол места при произвольном размещении потребителей информации от МКА на поверхности Земли в области действия системы составляет не менее 25°. Бортовой радиотехнический комплекс обеспечивает в канале связи с абонентами плотность потока мощности, разрешенную для выбранного диапазона частот, с неравномерностью не более 3 дБ. Высота орбиты спутниковой группировки составляет около 700 км. По решаемым задачам, видам услуг и передаваемой информации спутниковую низкоорбитальную систему можно отнести к цифровым сетям.

Управление в больших системах можно определить как упорядоченный комплекс мероприятий, обеспечивающих

организацию и поддержание на необходимом уровне интенсивности множества взаимосвязанных процессов, протекающих как на структурных элементах системы, так и между этими элементами и окружающей средой, направленный на достижение основной цели системы – максимальной эффективности функционирования. Таким образом, организация управления низкоорбитальной спутниковой группировкой связана с особенностями ее структуры:

- непрерывным перемещением спутников;
- большим количеством одновременно работающих спутников и др.

С учетом этих особенностей необходимо, прежде всего, обеспечить высокую оперативность управления малыми космическими аппаратами.

Управление низкоорбитальной спутниковой группировкой осуществляется с Центра управления полетами (ЦУП) (рис. 2), в состав которого входит система управления и контроля и радиочастотный канал.

Главное назначение ЦУП – управление и координация взаимодействия технических средств по развертыванию, поддержанию в режиме штатной эксплуатации и замене отработавших КА. ЦУП решает задачи:

- долгосрочного и оперативного планирования работы КА, технических средств наземного комплекса управления (НКУ);
- организации синхронной работы технических средств в реальном масштабе времени;
- приема результатов сверки бортовой шкалы времени и их выдачи потребителям;
- контроля формирования пакетов контрольно-пакетной информации и передачи их на борт КА;
- приема обработки, отображения и архивирования телеметрической информации от КА;
- анализа и прогноза технического состояния КА;
- организации проведения измерений текущих навигационных параметров, их обработки;
- организации профилактических работ и обработки нештатных ситуаций;
- проведения функционирования контроля работоспособности технических средств ЦУП в соответствии с техническими требованиями;
- организации протоколов, очередей, приоритетов, потоков информации, доступа к архивам;
- обеспечения автоматизированного обмена информацией со средствами НКУ и взаимодействующими комплексами;
- формирования отображения состояния спутниковой группировки для отдельных рабочих мест;

– работы с базой данных и центральным архивом НКУ.

Решение задач, стоящих перед ЦУП, обеспечивается взаимодействием технических средств ЦУП, в основном на обмене информацией. Каждое средство может быть представлено с информационной точки зрения как устройство, способное принимать входную информацию, использовать принятые данные для выполнения своих целевых функций, формировать выходной поток данных.

Рабочие места штатных и привлекаемых операторов ЦУП должны находиться в одном помещении. В ЦУП должны быть расположены резервные вычислительные средства и резервные рабочие места для работы в нештатных ситуациях.

Центр управления полетами является организатором взаимодействия всех средств НКУ, что обеспечивается согласованием форматов сообщений, синхронизацией взаимодействия по времени, своевременным архивированием и защитой информации от несанкционированного доступа. Взаимодействие с техническими средствами ЦУП основано на обмене информацией с помощью локальной вычислительной сети.

Основными элементами системы управления и контроля являются следующие:

- наземный комплекс управления;
- бортовой комплекс управления космических аппаратов;
- системы связи и передачи данных (ССПД).

Особенностью системы является распределенный наземный сегмент, состоящий из Центра управления и значительного числа координирующих и шлюзовых станций, размещенных по всей территории России и, возможно, на территории других стран.

С точки зрения управления все элементы системы объединены в одну сеть. При штатной эксплуатации спут-

никовой группировки основным режимом любого КА, входящего в ее состав, является режим автономного контроля и управления. Его суть заключается в том, что бортовой комплекс управления (БКУ) контролирует работоспособность бортовой системы КА и по результатам этого контроля оптимизирует ее работу или устраняет нештатную ситуацию. В этом режиме БКУ регламентирует время проведения сеансов связи с НКУ, координирующими станциями.

При этом роль НКУ сводится к следующим действиям:

- контролю параметров «Норма» (обобщенный параметр, характеризующий работоспособность КА), поступающих по связному каналу в ЦУП НКУ с КА;
- периодическому проведению внешнетраекторных измерений каждого КА и прогнозированию их движения;
- периодическому проведению сверки и коррекции бортовых шкал времени;
- периодическому проведению регламентных проверок работоспособности систем каждого КА;
- учету отказов аппаратуры КА и прогнозированию его работы.

На этапах выведения КА, ввода его в спутниковую группировку, вывода из спутниковой группировки, а также при регламентных работах или при возникновении нештатных ситуаций, не парируемых при автономном управлении и контроле, НКУ берет на себя оперативное управление бортовыми системами КА. При этом управление и контроль их ЦУП осуществляется через ССПД.

Для реализации автономного управления и контроля с целью устранения неисправностей или оптимизации работы КА, БКУ работает по следующему алгоритму:

- непрерывный контроль состояния (нахождение в пределах допусков) наиболее важных параметров, характеризующих работоспособность бортовых систем КА;

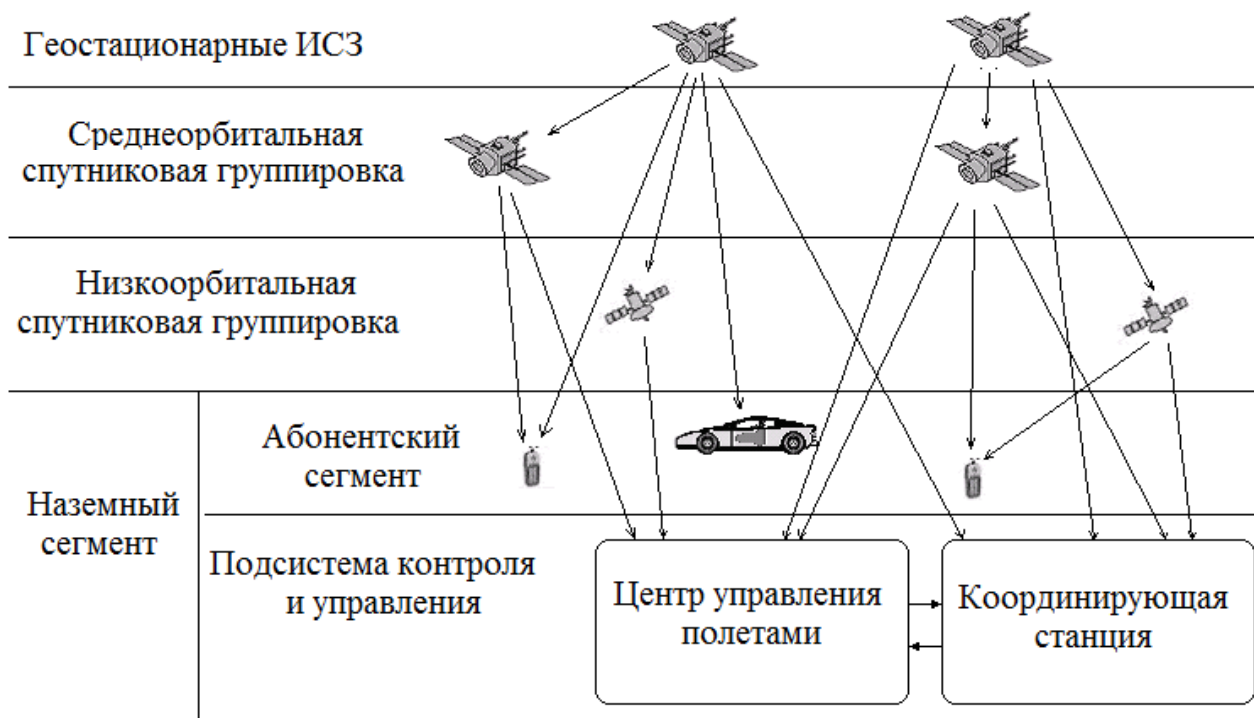


Рис. 1. Структурная схема распределения космических аппаратов по высотам

- при выходе какого-либо параметра за допуск – анализ состояния сопутствующих ему параметров;
- определение вероятных причин возникшей неисправности и реализация типовых алгоритмов ее устранения;
- формирование команд управления режимами работы или резервами аппаратуры, контроль и анализ последствий их исполнения.

С каждого КА в ЦУП передается информация телесигнализации, которая содержит следующие сигналы: «Норма»; «Вызов НКУ»; «Аварийный вызов НКУ».

Сигнал «Норма» представляет собой обобщенный критерий работоспособности КА. Он передается в том случае, если все контролируемые параметры бортовых систем КА находятся в диапазоне допусков.

Сигнал «Вызов НКУ» представляет собой несрочный запрос на связь с НКУ. Он передается в тех случаях, когда КА хочет сообщить НКУ о произведенных им действиях или получить разрешение на них, например:

- факт парирования возникшей и устраненной нештатной ситуации со всеми вытекающими последствиями (например, перечень отказавшей аппаратуры);
- уход бортовой шкалы времени;
- запрос разрешения на коррекцию местоположения.

Пакеты, содержащие сигналы «Норма» и «Вызов НКУ», имеют низкие приоритеты и передаются в НКУ в паузах передачи целевой служебной информации.

Сигнал «Аварийный вызов НКУ» представляет собой срочный запрос на вызов НКУ. Передача его в НКУ с КА производится с минимальной задержкой в каналах связи, для чего пакету информации, содержащему этот сигнал, присваивается высший приоритет. Этот сигнал передается в тех случаях, когда возникшая на борту КА неисправность нарушает работу спутника и не парирует автономными действиями.

Кроме этих основных сигналов в составе телесигнализации существуют ряд дополнительных уточняющих сигналов, повышающих оперативность реакции НКУ:

- запрос на коррекцию бортовой шкалы времени;
- перегрузка каналов связи;
- номер отказавшей системы.

Конкретный перечень сигналов телесигнализации должен быть определен на этапе эскизного проектирования КА.

В ЦУП НКУ информация телесигнализации, поступающая от КА, должна сразу обрабатываться и отображаться.

Оперативное управление из НКУ предполагает совместное решение всех задач управления и контроля средствами НКУ и БКУ, при этом приоритеты решения принадлежат НКУ (смешанный режим управления).

Оперативное управление и контроль КА из НКУ осуществляется в следующих случаях:

- вызова НКУ на связь по инициативе КА или координирующей станции (по каналу телесигнализации);
- нештатной ситуации на КА, которая не была устранена автономным управлением;
- плановой регламентной проверки работоспособности бортовых систем КА;
- плановой сверки или коррекции бортовых шкал времени;
- плановой проверки местоположения КА.

Если нештатная ситуация на борту КА не связана с отказом системы связи, то управление и контроль КА производится из НКУ по штатным каналам связи. По этим каналам связи из НКУ на КА передается цифровая контрольно-пакетная информация, а обратно – квитанционная и измерительная информация.

В составе цифровой контрольно-пакетной информации передаются следующие данные:

- управляющая информация для работы бортовых вычислительных средств (исходные данные, начальные установки, коррекция алгоритмов управления и т. д.);
- управляющая информация для реализации управления через БКУ на уровне единичных команд;
- управляющая информация непосредственного доступа (разовые команды, поступающие на рабочие орга-

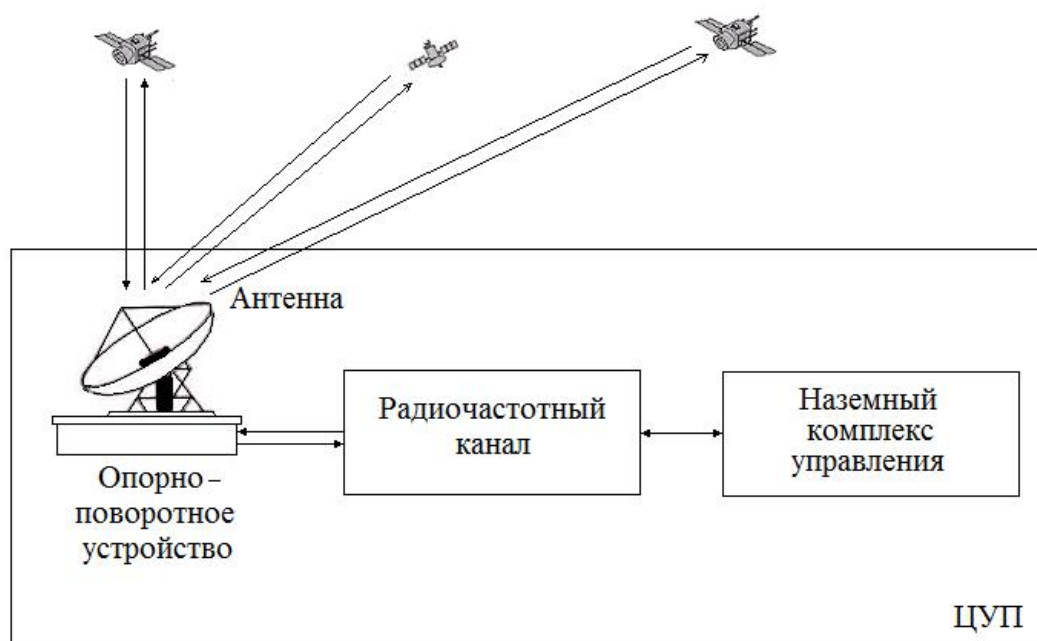


Рис. 2. Структурная схема Центра управления полетами

ны бортовых систем, минуя бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ);

– технологическая управляющая информация (запрос на передачу контрольно-измерительной информации, на проведение сверки или коррекции времени и т. д.).

Управляющая информация в зависимости от назначения и адреса может поступать и обрабатываться в БЦВМ или транзитом пересылаться в другие бортовые системы КА.

Квитанционная информация, передаваемая по обратному каналу, формируется в ответ на принятую по прямому каналу контрольно-пакетную информацию и представляет собой данные о результатах ее приема, обработки и исполнения. Эта информация передается всегда, когда передается контрольно-пакетная информация.

Контрольно-измерительная информация передается только в ответ на запрос НКУ, который содержит следующие сведения:

- команду на передачу содержимого оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), регистрирующего все нештатные ситуации на КА и действия по их парированию;
- команду на передачу контрольно-измерительной информации от какой-либо конкретной бортовой системы;
- команду на считывание информации из любого модуля БЦВМ;
- набор адресов конкретных параметров, которые необходимо передать в НКУ.

Наземный комплекс управления, получив сигнал о вызове, запрашивает КА о причинах вызова (например, в случае возникшего, но устраненного отказа какой-либо аппаратуры), проводит при необходимости диагностический контроль одной или нескольких бортовых систем, регистрирует в своем архиве отказавшие элементы аппаратуры на КА и делает заключение о возможности его дальнейшей эксплуатации. Если же КА не может автономно парировать нештатную ситуацию, то НКУ находит и принимает оптимальное решение (моделируя у себя нештатную ситуацию).

Радиочастотный канал предназначен для следующих действий:

- приема сигналов с КА в магистральном канале;
- предварительной фильтрации, усиления и переноса принятого сигнала на промежуточную частоту;
- передачи принятого сигнала на стойку демодуляторов для дальнейшей обработки;
- приема цифрового потока, подготовленного для передачи на спутник, и формирования передаваемого высокочастотного сигнала;
- усиления и излучения передаваемого сигнала.

В состав радиочастотного канала входят следующие устройства:

- антенна с опорно-поворотным устройством;
- фидерный тракт с дуплексором и развязывающими фильтрами;
- малошумящий усилитель;
- синтезатор частот;
- преобразователь приемного канала;
- усилитель мощности передающего канала;
- управляющая ЭВМ.

Тракт радиочастотного канала должен обеспечивать дуплексный режим работы; требуемую величину чувствительности; устойчивость трактов усиления; сетку рабочих частот, реализующих полную электромагнитную совместимость и устойчивость работы приемно-передающего тракта; программную компенсацию доплеровских смещений принимаемых сигналов и упреждающую компенсацию передаваемых смещений в передаваемых сигналах; необходимый уровень мощности передающего устройства.

Малые космические аппараты нового поколения дополнительно предназначены для решения образовательных задач. Суть образовательной миссии заключается в моделировании рабочего процесса создания спутника с самого начала, от разработки проектной документации до конечного этапа – управления спутником на орбите. Такой подход значительно повышает уровень профессиональной подготовки молодых специалистов.

I. N. Kartsan

## LAND CONTROL COMPLEX FOR SMALL SPACE VEHICLES

*The application features of the land control complex of the Centre of flight control for small space vehicles being on small heights in various service conditions are considered.*

*Keywords: small space vehicle, on-board complex of control, land complex of control, the radio-frequency channel.*

© Карцан И. Н., 2009