

УДК 629.78

Е.И. Махонин¹, А.Н. Загорулько²

¹ *Национальное космическое агентство Украины, Киев*

² *Национальный центр управления и испытаний космических средств, Евпатория*

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

Проведен анализ основных тенденций и направлений развития систем управления космическими аппаратами, оценена их применимость к условиям отечественной однопунктной технологии управления с целью повышения эффективности функционирования космических систем.

Ключевые слова: *система управления космическими аппаратами, однопунктная технология управления, эффективность функционирования космических систем.*

Введение

Выполнение целевых задач космическими аппаратами обеспечивается надежным, устойчивым и оперативным функционированием системы управления КА.

Система управления космическими аппаратами (СУ КА) является пространственно распределенной системой управления и состоит из двух сегментов – бортового и наземного комплексов управления (БКУ и НКУ), связанных между собой через систему связи и передачи данных [1, 6].

Характеристики СУ КА во многом определяются способом функционирования КА при решении им целевой задачи и эффективностью бортового и наземного комплексов управления.

Традиционно для управления КА различного назначения использовалась многопунктная технология в виде территориально распределенной системы измерительных пунктов управления [1 – 4], позволяющая обеспечивать:

- глобальность и непрерывность управления КА;
- высокую пропускную способность (количество сеансов связи с КА за сутки);
- высокую надежность выполнения задач управления (вероятность безотказной работы наземных средств);
- возможность резервирования, как наземных средств, так и сеансов связи;
- расширение зоны радиовидимости КА с территории страны;
- оперативное определение параметров орбиты.

В отечественной практике, в силу географического положения, используется однопунктная технология управления. Являясь предельным случаем регионального принципа построения НКУ, однопунктная технология имеет ряд преимуществ [1, 6]:

приобретается полная автономность системы управления;

существенно сокращаются информационные потоки, резко возрастает оперативность обработки полученных данных и принятие решений;

появляется возможность более высокой специализации как технических, так и программных средств и повышения на этой основе эффективности управления КА.

В полной мере реализовать указанные преимущества можно лишь при наличии бортового комплекса управления, осуществляющего значительную часть обработки информации: оценку технического состояния бортовых систем, определение параметров движения, поддержание высокостабильной сетки частот, шкал времени, выработку управляющих воздействий с контролем их реализации. В противном случае однопунктной технологии управления КА присущи следующие недостатки:

неполная информированность о космической обстановке и результатах решения поставленных КА задач;

отсутствие возможности маневрирования резервами (например, при выходе из строя одного из измерительных пунктов);

сокращение времени информационного обмена с КА и, как следствие, уменьшение объема передаваемой и принимаемой с борта КА информации;

сложность баллистико-навигационного обеспечения полёта КА из-за снижения объёма и точности измерений параметров движения КА и их анализа;

резкое сокращение области пространства для проведения сеансов связи с КА.

Анализ основных исследований и публикаций. В работах известных зарубежных и отечественных ученых и специалистов достаточно подробно рассмотрены традиционные методы построения и функционирования систем управления КА применительно к многопунктной технологии управления [1 – 8, 12]. Стремительное развитие технических и программных средств и технологий, усложнение

космического сегмента системы управления вызывает необходимость поиска новых подходов к процессам управления КА.

Цель статьи. Исходя из изложенного, целью работы является проведение анализа основных тенденций и направлений развития систем управления космическими аппаратами, оценка их применимости к условиям отечественной однопунктной технологии управления с целью повышения эффективности функционирования космических систем.

Изложение основного материала

Космические системы нового поколения создаются и развиваются на основе новых современных революционных технологий, результатом внедрения которых является:

- миниатюризация КА (создание микро-, пико- и наноспутников);
- создание многоспутниковых группировок однотипных КА, образующих целостные космические системы (единый пространственно распределенный объект);
- применение спутников-ретрансляторов для передачи целевой и служебной информации;
- широкое использование аппаратуры спутниковой навигации в интересах баллистико-навигационного обеспечения процесса управления;
- интеллектуализация БКУ;
- унификация и международная стандартизация аппаратных и программных средств (CCSDS, ISO, ITU, IRIG).

Кардинальным путем изменения структуры системы управления КА является автоматизация процесса управления, направленная на:

- повышение оперативности обработки информации и принятие решений;
- повышение автономности функционирования КА;
- повышение пропускной способности НКУ;
- повышение надежности системы управления в целом;
- уменьшение объема информации, циркулирующей в контуре управления между бортовым и наземными комплексами управления.

Уровень автоматизации определяется как отношение числа операций n_a , осуществляемых с помощью средств автоматизации, к общему числу операций n_Σ , необходимых для процесса управления:

$$k_a = \frac{n_a}{n_\Sigma}.$$

Одним из современных примеров повышения автономности КА путем автоматизации БКУ является программное обеспечение (ПО) Remote Agent ("удаленный агент") для дальних КА, которое НАСА разработало для первой автоматической меж-

планетной станции Deep Space-1 (DS-1) в рамках программы New Millenium ("Новое тысячелетие"). Задачей ПО, созданного на основе искусственного интеллекта, будет управление КА (не только дальними) при минимальном участии человека [12].

ПО разработано совместно НИЦ Эймса и Лабораторией реактивного движения НАСА для снижения стоимости и пространственного расширения космических исследований путем достижения "компьютерной автономии". На основе данного ПО можно будет разрабатывать ПО также и для других КА. Одним из перспективных путей радикального снижения стоимости полета КА является уменьшение численности персонала, участвующего в управлении КА, с сотен человек до одного десятка. По оценкам стоимость полета КА (например, АМС) может быть снижена на 60 % за счет использования ПО типа Remote Agent.

ПО Remote Agent строится на моделях. В программу вводятся модели компонентов КА, и она самостоятельно подсчитывает детали управления для достижения заданной цели. Для нового КА требуется только уточнение моделей.

ПО Remote Agent состоит из трех компонентов, работающих совместно:

блок планирования и составления расписания высокого уровня (High Level Planning and Scheduling);

защита от неисправностей, основанная на моделях (Model-Based Fault Protection);

"умный исполнитель" (Smart Executive).

При управлении КА используются информированные методы управления с обратной связью. В зависимости от оперативности поступления и обработки информации управление может быть следящим (в реальном масштабе времени) и корректирующим (с задержанной обратной связью). При однопунктной технологии управления задержки составляют от 1,5 до 12 часов, что накладывает особые требования к автономности.

Развитие систем управления КА идет по пути совершенствования технических характеристик комплексов управления. Наибольший интерес представляет вопрос создания и применения спутниковых систем контроля и управления КА. Предполагается, что такая система должна состоять из 2–3-х КА-ретрансляторов на геостационарной орбите и 1–2-х наземных пунктов управления и ретрансляции, обеспечивающих управление КА ближнего космоса.

По сравнению с глобальным наземным комплексом управления такая система значительно сокращает эксплуатационные расходы.

Группировка сил управления создается на территории страны в соответствии с требованиями обеспечения оперативности, глобальности, непре-

рывности и надежности управления космическими аппаратами в любое время.

В общем случае выполнение этих требований обеспечивается за счет:

- возможности проведения необходимого количества сеансов управления с каждым КА при заданной их длительности и на заданном количестве витков в каждые сутки полета;
- точности определения параметров орбит и зон видимости КА;
- оптимального размещения средств управления на территории страны;
- тактико-технических характеристик средств орбитального и наземного комплексов управления.

Развитие АСУ осуществляется по двум основным направлениям:

- совершенствование технического обеспечения (аппаратного сегмента);
- совершенствование программного обеспечения.

При разработке системы программного обеспечения выдвигаются особые требования к его универсальности, открытости, способности легко и быстро

адаптироваться к новым элементам АСУ (новым наземным или бортовым командно-измерительным системам). Для настройки используются специальные программные средства.

Все задачи системы управления КА можно разделить на четыре группы, которые называют контурами управления: телеметрический, командно-программный, баллистико-навигационный и целевой. В табл. 1 представлено предполагаемое распределение функций и решаемых задач между бортовым и наземным контурами управления.

Под оценкой эффективности системы управления КА понимается показатель (ряд показателей), характеризующий качество работы КА в заданных условиях применения.

Обобщенным критерием эффективности системы управления может служить, например, вероятность управления, которая будет определяться через вероятности выполнения задач в каждом из контуров управления (полагая, что каждая группа задач независима и необходима):

$$P_y = P_{TM} P_{KP} P_{BN} P_{Ц}$$

Таблица 1

Предполагаемое распределение функций и решаемых задач между бортовым и наземным контурами управления

Контур управления	БКУ	НКУ
<i>Телеметрический контур</i> (контроль и анализ технического состояния)	Автоматическая диагностика и восстановление работоспособности бортовых систем.	Анализ и восстановление работоспособности КА при возникновении нештатных ситуаций.
<i>Командно-программный контур</i> (выдача управляющих воздействий)	Координатно-программный (временной) способ управления. Поддержание и коррекция высокостабильной бортовой шкалы времени.	Формирование программы полета в структуре «координаты (время) – событие».
<i>Баллистико-навигационный контур</i> (контроль и управление движением центра масс КА и КА вокруг центра масс)	Автономное решение задач баллистико-навигационного обеспечения. Поддержание заданных параметров орбиты и положения центра масс КА.	Расчет стандартной баллистической информации в интересах НКУ (целеуказания для работы наземных средств, стандартные формы для управления и планирования).
<i>Целевой контур</i> (выполнение требуемых режимов использования целевой аппаратуры)	Использование спутников-ретрансляторов целевой информации. Совмещение каналов передачи целевой и телеметрической информации.	Контроль и анализ состояния бортовых систем по обобщенной информации целевого контура.

Оптимальное распределение функций между бортовым и наземным контурами управления обеспечивает:

- увеличение срока автономного (без вмешательства НКУ) функционирования КА;
- сокращение количества сеансов связи для приема телеметрической и траекторной информации;

– сокращение общего объема информации, циркулирующей в контуре управления.

При таком распределении функций в процессе управления КА наземный комплекс управления обеспечивает выполнение следующих задач на различных этапах эксплуатации:

- проведення контролю начальных режимов расчеховки и ориентации КА после отделения от ракеты-носителя;
- проведение проверок, испытаний и ввода в эксплуатацию бортовой аппаратуры;
- перевод КА в заданную точку орбиты;
- проведение сеансов контроля и коррекции орбиты КА для поддержания необходимой баллистической структуры;
- проведение сеансов управления, состоящих из выдачи командно-программной информации для управления бортовой аппаратурой и бортовым программным обеспечением;
- проведение сеансов приема телеметрической информации (ТМИ) для определения работоспособности и параметров работы бортовой аппаратуры;
- парирование нештатных ситуаций, не устранимых бортовой системой контроля и диагностики;
- проведение регламентных работ с КА;
- обеспечение информационного обмена между элементами наземного комплекса управления (НКУ) и взаимодействии НКУ с взаимодействующими комплексами и службами, в том числе с наземным специальным (целевым) комплексом, структурно не входящим в состав НКУ.

Выводы

Как следует из проведенного анализа, основные тенденции развития систем управления КА направлены на повышение автономности БКУ и автоматизации процесса управления. Предложенные подходы целесообразно использовать при разработке перспективных группировок отечественных КА, работающих в жестких условиях однопунктной технологии управления.

Список литературы

1. *Космические радиотехнические комплексы: под общ. ред. Г.В. Стогова.* – М.: МО СССР, 1986. – 626 с.

2. *Застосування космічних систем для забезпечення дій збройних сил: навчальний посібник; за ред. В.І. Ткаченка.* – Х.: ХВУ, 2001 – 192 с.

3. *Глазов Б.И. Автоматизация управления средствами и частями полигонных и космических комплексов / Б.И. Глазов.* – М.: МО СССР, 1988. – 326 с.

4. *Моделирование и оценка эффективности применения космических систем: уч. пособие; под общ. ред. Н.С. Пастушенко, В.П. Деденка.* – Х.: ХВУ, 1997. – 278 с.

5. *Андреев В.П. Програмне та математичне забезпечення обчислювальних засобів АСУ / В.П. Андреев.* – ЖВІРЕ, МО України, 1998. – 164 с.

6. *Організація системи управління космічними засобами в умовах однопунктної технології: навчальний посібник / С.Т. Черепков, В.І. Богомья, О.М. Загорулько, С.Д. Ставицький.* – К.: НАОУ, 2005. – 57 с.

7. *Сеидов Т.М. Автоматизированные системы управления войсками и связью / Т.М. Сеидов, А.Н. Румянцев.* – М.: МО СССР, 1983. – 52 с.

8. *Загорулько А.Н. Особенности программных способов управления космическими аппаратами при однопунктной технологии / А.Н. Загорулько // Моделирование та інформаційні технології: Збірник наукових праць.* – Х.: НАНУ, Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова, 2005. – Вип. 32. – С. 80-87.

9. *Архангельский В.И. Интегрированные АСУ в промышленности / В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, Н.А. Рюмишин.* – К.: НПК «Киевский институт автоматки», 1995. – 316 с.

10. *Ефимов С.К. Аппаратура спутниковой навигации КА «Сич-1М» и «Микроспутник / С.К. Ефимов, А.Г. Нестерович, А.И. Яковченко // Космічна наука і технологія.* – 2001. – Т.7, №4. – С. 114-116.

11. *ГОСТ 24.701-86 Надежность автоматизированных систем управления.* М.: Изд-во стандартов, 1986. – 18 с.

12. *Сайт ti.arc.nasa.gov [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: ti.arc.nasa.gov/tech/asr/planning.../remote-agent.*

Поступила в редколлегию 30.08.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, ГП «Центральный научно-исследовательский институт навигации и управления», Киев.

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМІВ РОЗВИТКУ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ КОСМІЧНИМИ АПАРАТАМИ

Є.І. Махонін, О.М. Загорулько

Проведений аналіз основних тенденцій і напрямів розвитку систем управління космічними апаратами, оцінена їх застосовність до умов вітчизняної однопунктної технології управління з метою підвищення ефективності функціонування космічних систем.

Ключові слова: система управління космічними апаратами, однопунктна технологія управління, ефективність функціонування космічних систем.

ANALYSIS OF BASIC DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF CONTROL THE SYSTEM BY SPACE VEHICLES

Ye.I. Makhonin, A.N. Zagorul'ko

The analysis of basic tendencies and directions of development of control the system by space vehicles is conducted, their applicability is appraised to the terms of domestic onepoint technology of management with the purpose of increase of efficiency of functioning of the space systems.

Keywords: control the system by space vehicles, onepoint technology of management, efficiency of functioning of the space systems.