

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ В УСЛОВИЯХ ОДНОПУНКТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

А.Н. Загорулько

(Национальный центр управления и испытаний космических средств, Евпатория)

В статье проведен анализ особенностей однопунктной технологии управления космическими аппаратами, рассмотрены противоречия и сформулированы требования к национальным космическим системам.

система управления, однопунктная технология, космические аппараты

Введение. Развитие национальных космических систем базируется на основе:

– оптимального построения орбитальных группировок космических систем для достижения максимальной эффективности их целевого применения;

– совершенствования наземной инфраструктуры управления КА и, в частности, технических устройств и средств управления космическими аппаратами;

– развития методологии функционирования космических систем.

В процессе развития национальных космических систем необходимо учитывать ряд основных объективных факторов, влияющих на качество применения космических средств:

– территория Украины позволяет реализовать только однопунктную технологию управления КА, что приводит к малому времени нахождения низкоорбитальных КА в зоне радиовидимости как наземных средств управления, так и средств приема целевой информации;

– усложнение космического сегмента в условиях ограниченности количества наземных технических средств, непосредственно осуществляющих управление при увеличении численности орбитальной группировки КА.

Анализ основных исследований и публикаций. В работах известных мировых и отечественных ученых и специалистов достаточно подробно рассмотрены вопросы построения и функционирования систем управления КА в условиях многопунктной технологии управления. Стремительное развитие и внедрение различного радиоэлектронного и электротехнического оборудования привело к расширению спектра задач, возлагаемых на бортовое оборудование КА, возрастанию информационной компоненты в космических системах. Космическому аппарату

передается значительная часть обработки циркулирующей в контуре управления информации. При этом КА из объекта управления превращается в подсистему распределенной автоматизированной системы управления (АСУ) КА [1 – 4].

В этих условиях применение известной методологии затруднено, что вызывает необходимость поиска новых подходов к процессам применения орбитальных группировок КА в условиях однопунктной системы управления.

Анализ особенностей однопунктной технологии. Состояние КА характеризуется параметрами его движения, текущими значениями показателей работоспособности и качеством выполнения функций служебной и специальной аппаратуры. Задачей управления КА является достижение требуемых интегральных (за некоторый период или в среднем) или локальных (в заданной точке пространства или в установленное время) значений выходного эффекта, определяемого назначением КА [2, 5, 6].

Система считается пригодной (удовлетворительно эффективной), если выходной эффект (n -мерный вектор показателей эффективности и качества Y_n^B) лежит в допустимых пределах [1]

$$Y_{<n>min}^T \leq Y_{<n>}^B \leq Y_{<n>max}^T. \quad (1)$$

Данный критерий может быть использован для оценки космических систем как на этапе разработки (проектирования), так и в реальных условиях испытаний и эксплуатации.

В отечественной практике используется однопунктная технология управления. Являясь предельным случаем регионального принципа построения НКУ, однопунктная технология имеет ряд преимуществ:

- приобретает полную 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 повышение 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.

Однопунктной технологии управления КА, используемой в отечественной практике, присущ ряд противоречий (табл. 1).

Таблица 1

Основные противоречия однопунктной технологии управления КА

Увеличение объема циркулирующей в контуре управления информации	Ограниченные ресурсные возможности бортовых и наземных средств
Объективность и оперативность принятия решений	Неполная информированность о состоянии КА
Повышение требований к точности и оперативности баллистико-навигационного обеспечения	Большая продолжительность набора необходимого количества траекторных измерений
Повышенные требования к надежности системы управления	Отсутствие возможности маневрирования резервами

Управление КА в ходе орбитального полета включает следующие основные процессы [7]:

- управление режимами работы подсистем;
- управление техническим состоянием.

Содержание управления КА составляют основные мероприятия [2]:

- планирование применения наземных средств;
- планирование и расчет операций управления, определяющих состав программ управления и их реализацию;
- оценка технического состояния и результатов работы бортовых систем;
- решение задач баллистико-навигационного и телеметрического обеспечения применения КА;
- анализ качества выполнения задач управления (табл. 2).

Процесс управления КА, несмотря на действие случайных факторов, имеет явно выраженные регулярные составляющие по типам объектов, связанные с детерминированностью их движения по орбитам. Целевое функционирование КА обеспечивается в результате выполнения КА основных мероприятий управления, причём для большинства типов объ-

ектов процесс управления состоит из последовательно повторяющихся отрезков примерно одинакового содержания – технологических циклов управления (ТЦУ). Если каждая операция ТЦУ выполняется независимо и необходима, то вероятность выполнения ТЦУ будет [1]

$$P_{\text{ТЦУ}} = P_{\text{НО}} \cdot P_{\text{БО}} \cdot P_{\text{СВ}} \cdot P_{\text{ФК}} \cdot P_{\text{КПО}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{НО}}$ – вероятность навигационного обеспечения, зависящая от успешности операций по съёму измерительной информации необходимого объёма и качества, её обработке и расчетах параметров движения КА; $P_{\text{БО}}$ – вероятность баллистического обеспечения, зависящая от успешности решения задач по прогнозу движения КА, расчету целеуказаний и стандартной баллистической информации (СБИ), необходимой для разработки программ управления КА; $P_{\text{СВ}}$ – вероятность временного обеспечения управления, зависящая от успешности операций по сверке и коррекции бортовой и наземной шкал времени, по оценке и компенсации уходов эталонных частот; $P_{\text{ФК}}$ – вероятность правильной оценки функционирования КА, зависящая от успешности операций по съёму ТМИ, её обработке и дешифровки; $P_{\text{КПО}}$ – вероятность достоверного командно-программного обеспечения, зависящая от успешности операций по расчету программ управления и их передачи с помощью РТС на борт КА.

Таблица 2

Задачи управления КА

Задачи управления	Методы реализации
Контроль и управление движением	– радиотехнические; – астрономические; – инерциальные.
Контроль и анализ технического состояния	– прямо – по ТМИ; – косвенно – по информации с РТК.
Выдача управляющих воздействий	– командный; – программно-временной; программно-координатный.
Приём целевой и служебной информации	– оптимизация процесса планирования; – координация работы и совместимость обеспечивающего и специального комплексов.

Таким образом, $P_{\text{ТЦУ}}$ вычисляется через вероятностные характеристики (показатели) выполнения частных задач (операций) управления.

Одной из особенностей однопунктной технологии является ограниченная интервалом времени $T_{\text{cy}} = [t_1, t_2]$ продолжительность пребывания КА в зоне видимости наземных средств. При централизованном управлении КА, применяемом в НАКУ КА СССР, наземные средства были так территориально распределены, что КА находился в зоне радиовидимости

сразу нескольких пунктов или последовательно переходил из зоны одного в зону другого, что позволяло повысить оперативность и глобальность операций управления и объём передаваемой на борт КА и получаемой информации. Таким образом, в практике управления КА возникло противоречие: с одной стороны, увеличение объёмов передаваемой информации, с другой – ограниченные ресурсные возможности наземных средств.

Анализ особенностей построения и функционирования существующих космических систем и технических возможностей бортовых устройств и радиолиний передачи информации позволил определить общие и специальные требования, которые нужно предъявлять к создаваемым национальным космическим системам при однопунктной технологии управления (табл. 3).

Таблица 3

Основные требования к национальным космическим системам

Сегменты	Требования	
	Общие	Специальные
Космический сегмент	Высокая автономность функционирования, наличие бортового комплекса управления, осуществляющего значительную часть обработки информации	– большой объём памяти запоминающих устройств; – оценка и анализ технического состояния бортовых систем; – контроль и определение параметров движения; – поддержание высокостабильной сетки частот; – контроль отработки программы полета.
Наземный сегмент	Надежность однопунктной системы управления	– точность определения координат КА; – оптимизация процесса управления и планирования; – оперативность обработки информации и принятия решений.
Система передачи информации	Оперативность передачи информации. Пропускная способность	– бортовая обработка и сжатие информации; – повышение информативности радиолиний; – использование систем с ретрансляцией сигнала.

При однопунктной технологии управления вступают в противоречие требования объективности принятия решения, что возможно только в условиях полной информации о состоянии КА и оперативности принятия мер, что реализуемо при использовании простых алгоритмов принятия решений.

Очевидно, что чем больше объём подлежащей обработке информации и чем жестче требования к оперативности принятия решения, тем

выше нижняя граница приемлемого уровня автоматизации процесса управления α .

Оптимальное значение будет лежать между максимально возможным и минимально допустимым уровнем, определяемым выделенным ресурсом C_i .

Формальная постановка задачи при этом может иметь вид

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{A_0}{A_\Sigma} \leq \alpha_{\max}; \\ \Delta X[t_\Sigma(\alpha)] &\rightarrow \min; \\ t_\Sigma &= \sum_{\gamma=1}^{A_0} t_i + \sum_{\gamma A_0+1}^{A_\Sigma} t_i \leq t_{\text{доп}} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

при
$$\sum_{i=1}^{A_0} C_i \leq C_p,$$

где $\Delta X[t_\Sigma(\alpha)]$ – потери в показателе эффективности космической системы при различных уровнях автоматизации; A_0 – число автоматизированных операций технологического цикла управления; A_Σ – общее число операций технологического цикла управления; t_Σ – общее время выполнения операций ТЦУ; α_{\max} – верхняя грань уровня автоматизации; C_p – выделенные на автоматизацию ресурсы, в качестве которых могут выступать вычислительные, энергетические, временные, экономические и другие виды ресурсов.

Описание системы управления КА математическими моделями сопряжено с большими техническими и принципиальными трудностями. Попытки получения модели системы управления на основе суперпозиции моделей ее подсистем в связи с их большим количеством, сложностью взаимодействия, а также различий в способах описания делают почти невозможным целостное описание системы, по крайней мере, ее аналитическое описание.

Значительным шагом вперед в разработке единообразного математического описания разнородных по сущности подсистем явилось создание теории агрегативных систем.

Существует еще один подход при построении и описании больших технических систем, к которым можно отнести и систему управления КА – последовательная разработка отдельных моделей, характеризующих ту или иную сторону функционирования (системных показателей) [7]:

- управление применением;
- управление движением центра масс КА и вокруг центра масс;

- управление техническим состоянием;
- контроль качества выполнения операций ТЦУ.

Исходя из присущих однопунктной технологии управления КА противоречий (табл. 1), можно выделить те основные свойства системы управления (системные показатели), которые требуют улучшения (табл. 4).

Таблица 4

Системные показатели, требующие улучшения

Свойства	Показатели
Пропускная способность	Количество КА, управляемых с заданным качеством за единицу времени (сутки) [количество объектосеансов в сутки]
Глобальность	Длительность и частота перерывов связи с КА
Оперативность	Задержки в получении и передаче управляющих воздействий и приеме целевой и служебной информации
Надёжность	Вероятность выполнения операций управления

Выводы. Таким образом, проведенные в данной статье исследования показали, что однопунктной технологии управления, применяемой в отечественной практике, присущ ряд противоречий, успешное разрешение которых позволит значительно повысить эффективность развития и использования национальных космических систем.

ЛИТЕРАТУРА

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. – М.: МО СССР, 1988. – 326 с.*
4. *Дружинин В.В., Конторов Д.С. Вопросы военной системотехники. – М.: Воениздат, 1976. – 224 с.*
5. *Калашников Н.И. Системы связи через ИСЗ. – М.: Связь, 1969. – 384 с.*
6. *Моделирование и оценка эффективности применения космических систем: Уч. пособие / Под общ. ред. Н.С. Пастушенко, В.П. Деденка. – Х.: ХВУ, 1997. – 278 с.*
7. *Абраменко Б.С., Вольский И.В., Гладченко В.В. Эксплуатация радиотехнических систем – М.: МО СССР, 1981. – 236 с.*
8. *Андреев В.П. Програмне та математичне забезпечення обчислювальних засобів АСУ. – Житомир: ЖВІРЕ, МО України, 1998. – 164 с.*

Поступила 1.03.2006

Рецензент: доктор технических наук, профессор С.В. Козелков,
Национальная академия обороны Украины, Киев.