

УДК 629.78

А.Н. Загорулько

*Национальный центр управления и испытаний космических средств, Евпатория*

## НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КА

*Проведен анализ основных тенденций развития автоматизированных систем управления космическими аппаратами, рассмотрены пути дальнейшей автоматизации процесса управления.*

*автоматизированные системы управления космическими аппаратами*

### Введение

Усложнение космического сегмента и широкое использование современных средств вычислительной техники выдвигают новые требования к автоматизированным системам управления КА (АСУ КА), разработка и внедрение которых связана с решением ряда сложных проблем. К ним следует отнести [1 – 3]:

- определение степени автоматизации каждого звена системы управления;
- определение минимально необходимой входной информации и способов ее детализации;
- выявление необходимой степени обобщения выходной информации для передачи в высшие звенья управления;
- выбор и алгоритмизация решаемых системой задач;
- разработка схем функциональных и информационных связей в системе, обеспечивающих непрерывность и гибкость процесса управления [4, 5].

При этом, учитывая тот факт, что в процессе своего функционирования АСУ КА взаимодействует с АСУ других уровней и назначений суперсистемы (системой управления запуском и посадкой, наземным специальным комплексом и т.д.), она должна обладать информационной, методической, математической и технической совместимостью.

При проектировании АСУ КА одной из целей является наиболее эффективное использование ресурсов (материальных, энергетических, информационных) и рациональное распределение функций и объемов решаемых задач между бортовыми и наземными средствами [2, 5].

В настоящее время в практике управления КА используются, преимущественно, наземные средства, обеспечивающие требуемую точность определения и прогноза движения КА, оценку технического состояния бортовой аппаратуры, контроль выполнения программы полета и планирование работы бортовых и наземных средств [6 – 8].

Это характерно, в основном, для многопунктной системы управления, предоставляющей возможность обеспечения требуемых характеристик оперативности, непрерывности и глобальности управления.

**Анализ основных исследований и публикаций.** 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 – 8].

В этих условиях применение известной методологии затруднено, что вызывает необходимость поиска новых подходов к процессам управления орбитальными группировками КА для условий однопунктной системы управления, применяемой в отечественной практике и на основе современных информационных технологий.

**Целью статьи** является анализ тенденций развития автоматизированных систем управления КА применительно к однопунктной системе управления КА, рассмотрены пути дальнейшей автоматизации процесса управления.

### Изложение основного материала

Большинство современных как отечественных, так и зарубежных АСУ КА разрабатываются и настраиваются под конкретные космические проекты. Недостаток эффективной стандартизации между различными проектами, во-первых, приводит к большим финансовым затратам, и, во-вторых, ограничивают возможности перекрестной поддержки со стороны других проектов. Выходом из создавшегося положения может служить разработка единой методологии построения унифицируемой АСУ КА, разрабатываемой по блочному или модульному принципу и позволяющей изменять свой состав в зависимости от назначения и объема решаемых системой задач и состояния бортовой аппаратуры КА. Примером таких космических систем могут служить разрабатываемые унифицируемые многоцелевые космические платформы и универсальные наземные станции управления разными типами КА.

Принципы построения и технические решения, принятые в АСУ, должны соответствовать современному уровню развития техники и обеспечивать требуемый уровень автоматизации процессов управления, контроля, диагностики и восстановления работоспособности КА.

АСУ КА предназначена для управления КА (системой КА) в целях выполнения ими целевых задач с заданным качеством и представляет собой совокупность персонала и взаимосвязанных техни-

ческих средств наземного (НКУ) и бортового (БКУ) комплексов управления с соответствующим математическим, информационным, лингвистическим и программным обеспечением.

В процессе своего функционирования АСУ КА выполняет следующие основные функции:

- управление целевым применением КА;
- управление функционированием бортовых систем КА;
- управление движением КА;
- выдача управляющих воздействий и контроль их выполнения;
- управление элементами НКУ и БКУ.

АСУ КА – сложная многоуровневая система, характеристики которой во многом определяются способом функционирования КА при решении им целевой задачи и эффективностью наземного комплекса управления.

Наземный комплекс управления создается на территории страны в соответствии с требованиями обеспечения оперативности, глобальности, непрерывности 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 наземных средств управления на территории страны;
- тактико-технических характеристик средств орбитального и наземного комплексов управления.

Исходя из присущих однопунктной технологии управления КА, используемой в отечественной практике, особенностей и противоречий, можно выделить те основные свойства автоматизированной системы управления (системные показатели), которые требуют улучшения [1 – 9] (табл. 1).

Таблица 1

Свойства АСУ, требующие улучшения

Свойства	Показатели
Пропускная способность	Количество КА, обслуживаемых с заданным качеством за единицу времени [количество объектов-сеансов в сутки]
Глобальность	Длительность и частота перерывов в сеансах информационного обмена НКУ с БКУ
Оперативность	Задержки в получении и передаче управляющих воздействий и приеме целевой и служебной информации
Надежность	Вероятность выполнения операций управления и задач целевого применения по назначению

При разработке систем управления КА одной из целей является наиболее эффективное использование ресурсов (материальных, энергетических, информационных), распределение функций и объемов решаемых задач между бортовым и наземным комплексом управления и автоматизация процесса управления. Очевидно, что чем больше объем подлежащей обработке информации и чем жестче требования к оперативности принятия решения, тем выше нижняя граница приемлемого уровня автоматизации процесса управления а.

Оптимальное значение будет лежать между максимально возможным и минимально допустимым уровнем, определяемым выделенным ресурсом  $C_i$ . Формальная постановка задачи при этом может иметь вид:

$$\Delta X[t_{\Sigma}(\alpha)] \rightarrow \min ;$$

$$\alpha = \frac{A_0}{A_{\Sigma}} \leq \alpha_{\max}; \quad \Sigma = \sum_{\gamma=1}^{A_0} t_{\gamma} + \sum_{\gamma=A_0+1}^{A_{\Sigma}} t_{\gamma} \leq t_{\text{доп}} \quad \text{при} \quad \sum_{i=1}^{A_0} C_i \leq C_p,$$

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

Влияние автоматизации на процесс управления КА проявляется в повышении тактико-технических характеристик системы управления, прежде всего, таких, как оперативность, пропускная способность и надежность управления. Пропускная способность, или количество КА, обслуживаемое системой за интервал времени  $t$ , определяется, как:

$$K = \left( t - \frac{t}{t_0} t_b - t_p \right) / (t_n + t_{cc}),$$

где  $t_0$  – среднее время наработки на отказ;  $t_b$  – среднее время на восстановление;  $t_p$  – среднее время на регламентные работы;  $t_n$  – время на подготовку к сеансу связи;  $t_{cc}$  – время на проведение сеанса связи.

Автоматизация приводит как к снижению времени на подготовку к сеансу связи, так и к снижению времени на регламентные и восстановительные работы. Пропускная способность увеличивается за счет более полного использования системы по целевому назначению. Построение рационального варианта структуры АСУ КА сводится к выбору лучшего из возможных вариантов, отличающихся значением показателей, характеризующих систему.

Наиболее полно успешность выполнения функций системой можно охарактеризовать через вероятность ее нормального функционирования  $P_f(t)$ , приближенное значение которой определяется умножением вероятности безотказной работы  $P(t)$  на коэффициент готовности  $k_r$ :

$$P_f(t) = P(t) k_r.$$

Коэффициент готовности  $k_r$  можно определить через функцию готовности, используя аппарат анализа непрерывных Марковских процессов. Если не различать причин, по которым АСУ находится в состоянии обслуживания (из-за ложного или истинного отказа), выражение для функции готовности системы к работе примет вид:

$$P_r(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda P_p(0) - \mu P_0(0)}{\mu + \lambda},$$

где  $\lambda$  – интенсивность перехода из состояния готовности к применению в состояние обслуживания (интенсивность отказов);  $\mu$  – интенсивность перехода из состояния обслуживания в состояние готовности к применению (интенсивность восстановления);  $P_p(0)$  и  $P_0(0)$  – начальные вероятности нахождения системы в готовности к применению и в состоянии обслуживания соответственно.

В стационарном состоянии, при  $t \rightarrow \infty$ , функция готовности системы принимает устойчивое значение, равное коэффициенту готовности:

$$k_r = \mu / (\mu + \lambda).$$

В этом случае коэффициент готовности не зависит от того, в каком состоянии находилась система вначале.

Автоматизация процесса управления, направленная на сокращение времени поиска, локализации и устранения отказов и неисправностей, приводит к повышению коэффициента готовности, а соответственно и вероятности нормального функционирования системы управления  $P_f(t)$ . Одним из направлений повышения глобальности является внедрение в процесс управления автономных методов, позволяющих КА выполнять функции без связи с наземными средствами. При этом под термином «интервал автономности» понимается ограниченный временной интервал, внутри которого КА выполняет задачи без информационного обмена с НКУ. В зависимости от типа, назначения КА и технических возможностей бортовой аппаратуры его значение колеблется от единиц часов до десятков суток и по мере совершенствования техники будет увеличиваться.

Кроме интервала автономности существует понятие уровня автономности, показывающего, какая часть той или иной функции выполняется на борту. Различают приборную и функциональную автономность, при которой некоторые элементы, играющие роль датчиков, а не управляющего элемента, размещены вне КА (например, спутниковые навигационные системы). Дальнейшее развитие автоматизированной сис-

темы управления можно ожидать от введения в систему новых структурных элементов и усложнению связей между ними. Основные направления:

– бортовой комплекс управления: повышение уровня автоматизации (как приборной, так и функциональной); увеличение интервала автономного функционирования КА; управление движением центра масс и движением КА вокруг центра масс; контроль и анализ технического состояния бортовых систем; восстановление работоспособности; поддержание высокостабильной сетки частот и шкал времени.

– наземный комплекс управления: совершенствование технических средств в направлении повышения надежности однопунктной технологии управления и сокращения времени на регламентные работы; оптимальное размещение средств управления для достижения максимальной эффективности их использования; оптимизация процесса планирования и управления; повышение оперативности обработки информации и принятия решений.

– система связи и передачи данных: повышение пропускной способности радиолинии «Земля – Борт», освоение новых частотных диапазонов и методов передачи информации; использование спутниковых систем с ретрансляцией сигналов.

### Выводы

Проведенный анализ тенденций развития АСУ КА показал, что применительно к специфике присутствующих однопунктной технологии управления КА особенностей и противоречий, дальнейшее повышение эффективности космических систем напрямую связано с повышением уровня автоматизации всех решаемых отдельными подсистемами АСУ КА задач. Рассмотренные в статье подходы могут быть использованы при разработке как наземного, так и бортового комплексов управления КА различного назначения.

### Список литературы

1. *Космические радиотехнические комплексы / Под общ. редакцией 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. *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. – 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., Румянцев А.Н. Автоматизированные системы управления войсками и связью. – М.: МО СССР, 1983. – 52 с.*
8. *Загорулько А.Н. Особенности программных способов управления космическими аппаратами при однопунктной технологии. // Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць. – Х.: НАНУ, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – К. – 2005. – Вип. 32. – С. 80-87.*
9. *Дружинин В.В., Конторов Д.С. Вопросы военной системотехники – М.: Воениздат, 1976. – 224 с.*
10. *Абраменко Б.С., Вольский И.В., Гладченко В.В. Эксплуатация радиотехнических систем – М.: МО СССР, 1981. – 236 с.*
11. *Ловцов Д.А. Основы лингвистического и информационного обеспечения АСУ. – М.: МО СССР, 1989. – 96 с.*

Поступила в редколлегию 31.07.2007

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