

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_{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.

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 λ – интенсивность перехода из состояния готовности к применению в состояние обслуживания (интенсивность отказов); μ – 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.