

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СТОИМОСТИ СПУТНИКОВ-РЕТРАНСЛЯТОРОВ

А.В. Кошель¹, Д.В. Дяченко¹, И.Я. Гайворонский¹,
С.В. Петров¹, А.В. Поляков²

(¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба,
²Объединенный научно-исследовательский институт ВС Украины, Харьков)

Рассматриваются методы расчета стоимости создания орбитальных группировок украинских КА для различных вариантов построения таких группировок.

космический аппарат, спутник-ретранслятор, орбитальная группировка

Постановка проблемы. Для определения стоимости изготовления спутников-ретрансляторов (СР) и их вывода на орбиты для каждой из рассматриваемых баллистических структур СР необходимо учесть данные по стоимости вывода полезных нагрузок на различные орбиты, приведенные в [1 – 5]. При этом для Украины реально реализуемыми могут быть малочисленные группировки КА [3, 5]. Очевидно, что кроме экономических преимуществ система низкоорбитальных СР имеет перед системой СР на ГСО тактические и технические преимущества:

– система низкоорбитальных СР способна обслуживать одновременно до 8 или 12 КА-абонентов, в то время как система СР на ГСО только четыре;

– для системы из 8 или 12 низкоорбитальных СР значительно проще решаются вопросы обеспечения восстановления системы при необратимых отказах СР;

– помехозащищенность системы из низкоорбитальных СР может быть выше, чем для СР на ГСО из-за того, что положение их относительно станций помех быстро меняется.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ последних публикаций [1 – 5] в указанной области показывает, что расчетные методы, позволяющие эффективно вычислять стоимость создания орбитальной группировки (ОГ), развиты недостаточно. При создании сложных технических систем достаточно распространены формулировки задачи оптимизации и их решения различными методами при выборе в качестве единого «суммарного» критерия обобщенной стоимости си-

стемы, в которую входит стоимость разработки, изготовления и эксплуатации системы в течение некоторого заданного времени [1, 2, 4, 5].

Остальные показатели качества системы – тактико-технические и организационные – относятся к ограничениям, но при этом приходится преодолеть неопределенности в зависимости параметра оптимизации и ограничивающих факторов от параметров системы. В процессе реального проектирования систем нового поколения неопределенность обычно преодолевается использованием опыта и интуиции специалистов – создателей таких систем в сочетании с проведением расчетов альтернативных вариантов построения системы и выбором наилучшего на конкурсной основе.

Целью данной статьи является получение метода расчета стоимости создания ОГ.

Основной материал. Поскольку одной из важнейших задач построения системы получения информации о положении и состоянии КА и обмена с ним управляющей информацией является способ обмена между КА и наземными пунктами управления, то в качестве критерия при выборе оптимального способа получения и обмена информацией в работе предложено использовать критерий минимума стоимости при выполнении заданных требований по таким показателям качества как глобальность, оперативность, информативность, точность определения орбиты КА и помехозащищенность (для КА военного назначения). При расчетах стоимости различных вариантов предложено учитывать новейшие научные и технологические достижения в области системного анализа и синтеза сложных технических систем, а также радиоэлектроники и космической техники, чтобы использовать оптимизацию структур, состава и параметров технических средств, реализующих эти способы. А именно оптимизировать: количество и орбиты спутников-ретрансляторов; состав, структуру и параметры радиотехнической аппаратуры и служебных систем, устанавливаемых на эти СР; количество и размещение наземных КИС, используемых как при непосредственном обмене информации с КА, так и при работе через СР; параметры бортовой и наземной аппаратуры КИС.

Для определения стоимости изготовления СР и их вывода на орбиты для каждой из рассматриваемых баллистических структур СР воспользуемся данными по стоимости вывода полезных нагрузок на различные орбиты, приведенные в [1, 2, 3, 5]. Анализируя и обобщая эти данные и приводя их к масштабам цен 2006 года, получим следующие значения стоимости вывода 1 кг полезного груза на различные орбиты:

- 1) круговая околополярная $H = 1600$ км – 3...6 тыс. дол.;
- 2) круговая околополярная $H = 3000$ км – 6...11 тыс. дол.;
- 3) геостационарная – 10...32 тыс. дол.

Достаточно широкие диапазоны приведенных цифр объясняются различными типами ракет и разгонных блоков, которые могут обеспечить вывод на эти орбиты. Выбор конкретного типа РН и РБ определяется не только расчетной стоимостью вывода 1 кг полезного груза на орбиту, но также и возможностью запуска необходимого количества СР в нужное время попутно с другими КА. Поэтому примем для сравнительной оценки стоимости вариантов структур СР следующие средние цифры стоимости вывода 1 кг груза:

СР на $H = 1600$ км – 4,5 тыс. дол.;

СР на $H = 3000$ км – 9,0 тыс. дол.;

СР на ГСО – 21,5 тыс. дол.

Стоимость изготовления СР примем пропорциональной их массам (табл. 1) с коэффициентом пропорциональности – 9,5 тыс. дол. за 1 кг массы СР.

Таблица 1

Характеристики масс радиокomплексов СР и СР в целом

Вариант баллистической структуры	Состав радиокomплекса СР	Масса радиокomплекса	Масса СР, кг
2 СР на ГСО	2 антенны A_1 1 антенна A_3 6 приемников 4 передатчика P_1 2 передатчика P_3	$2 \times 3,6 + 2,0 + 6 \times 0,6 + 2 \times 35,6 + 0,5 =$ $= 84,5$	194,3
$2 \times 4 = 8$ СР на околополярных круговых орбитах $H = 3000$ км	1 антенна A_1 2 антенны A_2 1 антенна A_3 8 приемников 2 передатчика P_1 4 передатчика P_2 2 передатчика P_3	$1 \times 3,6 + 3 \times 2,0 + 8 \times 0,6 + 7,0 + 2 \times 0,6 + 0,1 =$ $= 22,7$	52,2
$2 \times 6 = 12$ СР на околополярных круговых орбитах $H = 1600$ км	то же	$1 \times 3,6 + 3 \times 2,0 + 8 \times 0,6 + 5,2 + 2 \times 0,5 + 0,1 =$ $= 20,7$	47,6

Умножая массы СР для каждой из баллистических структур, приведенных в табл. 1, получим стоимость изготовления необходимого количества СР, стоимость их вывода на рассматриваемые орбиты и суммарную стоимость системы (без стоимости её разработки). Перечисленные данные о стоимости сведены в табл.2.

Таблица 2

Стоимости изготовления системы СР и вывода их на орбиты для различных баллистических структур СР

Вариант баллистической структуры	Масса одного СР, кг	Суммарная масса СР в системе, кг	Стоимость изготовления одного СР, млн. дол.	Стоимость изготовления всех СР, млн. дол.	Стоимость вывода всех СР на орбиту, млн. дол.	Суммарная стоимость, млн. дол.
2 СР на ГСО	194,3	388,6	1,81	3,63	8,36	12,0
2 × 4 = 8 СР на околополярной круговой орбите Н = 3000 км	52,2	417,6	0,48	3,9	3,83	7,73
2 × 6 = 12 СР на околополярной круговой орбите Н = 1600 км	47,6	571,2	0,44	5,3	2,63	7,96

Стоимость разработки системы СР состоит из стоимости разработки проектной и конструкторской документации, стоимости изготовления двух образцов СР для наземной отработки и испытаний входящих в них систем и СР в целом и стоимости проведения испытаний и наземной отработки.

Можно считать, что стоимости разработки документации, проведения наземной отработки и испытаний для всех вариантов баллистических структур СР примерно одинаковы и равны 2,33 млн.дол.

Стоимость изготовления СР для испытаний и отработки возьмем из табл. 2. Тогда полная стоимость разработки СР составит:

5,96 млн.дол. для СР на ГСО,

3,3 млн.дол. для СР на орбитах с Н = 3000 км,

3,22 млн.дол. для СР на орбитах с Н = 1600 км.

Таким образом, суммарная стоимость создания системы СР составит примерно 18,0 млн. дол. для СР на ГСО и около 11 млн. дол. для СР на низких околоземных орбитах.

Конечно, этот вывод является предварительным. При конкретном выборе баллистической структуры СР нужно провести дополнительные исследования совместно разработчиками радиосистем, спутников-ретрансляторов и ракетно-космических комплексов. Однако, методика оптимизации и качественная оценка стоимости создания систем СР и преимуществ низкоорбитальных СР над геостационарными не изменится.

Выводы. Обоснованы и сформулированы предложения в части экономических, тактических и технических преимуществ системы низкоорбитальных СР перед системой СР на ГСО, а именно, - при сопоставимых технических характеристиках: суммарная стоимость создания системы СР по предварительным расчетам составит примерно 18,0 млн. дол. для СР на ГСО и около 11 млн. дол. для СР на низких околоземных орбитах; система низкоорбитальных СР способна обслуживать одновременно до 8 или 12 КА-абонентов, в то время как система СР на ГСО – только четыре; для системы из 8 или 12 низкоорбитальных СР значительно проще решаются вопросы обеспечения восстановления системы при необратимых отказах СР; помехозащищенность системы из низкоорбитальных СР может быть выше, чем для СР на ГСО из-за того, что положение их относительно станций помех быстро меняется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабишин В.Д. *Методологические основы синтеза технологий автоматизированного управления космическими аппаратами в условиях ограниченных ресурсов.* – М.: МГУЛ, 2002. – 258 с.
2. Милов Ю.Г., Калинин А.Ф., Горин А.В., Гришин В.М. *Проектирование средств автоматизированного управления космическими аппаратами, интегрированных со средствами специальных комплексов космических систем: Учебное пособие.* – М.: АООП, 1998. – 435 с.
3. Калинин А.Ф., Горин А.В. и др. *Проектирование наземных комплексов управления космическими аппаратами: Учебное пособие.* – М.: АООП, 1999. – 653 с.
4. Nanos A.A., Samaras T., Vafiadis E.E., Sahalos J.N. *On the Safety Evaluation of the space in the vicinity of an aperture antenna // IEEE Transactions on antennas and propagation.* – 2003. – Vol. 51, No. 8. – P. 1706-1715.
5. *Застосування космічних систем для забезпечення дій збройних сил: Навч. посібник / За ред. В.І. Ткаченка.* – Х.: ХВУ, 2001. – 192 с.

Поступила 24.04.2006

Рецензент: доктор технических наук, старший научный сотрудник Г.В. Худов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.