

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАКРЕПЛЕННОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКОЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ЕДИНЫМ ЦЕНТРОМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТАМИ

д.т.н., проф. В.М. Илюшко, Е.С. Козелкова

Исследованы возможности единого центра управления полетом космических аппаратов по управлению закрепленной космической группировкой.

Введение. Полная оценка возможности управления закрепленной орбитальной группировкой (ОГ) объединенным центром управления полетом (ОЦУП) космическими аппаратами (КА) сопровождается применением достаточно громоздких математических вычислений операций. В то же время оценка возможности функционирования ОЦУП КА является актуальной, особенно в процессе создания наземных комплексов управления национальными космическими аппаратами при условии реализации международных космических программ. При этом важно, что национальный наземный автоматизированный комплекс управления (НАКУ) реализует перспективные технологии управления, в частности, однопунктную технологию. Поэтому представляется целесообразным разработать метод предварительной оценки возможности управления КА ОЦУП при уточнении структуры и состава ОГ.

Для конкретизации предположим, что НАКУ содержит сеть измерительных пунктов, средства связи, обработки информации и управления. При этом КА характеризуются квазидетерминированными траекториями из-за изменения периода обращения, поэтому участки прямой видимости КА и измерительных пунктов (ИП) располагаются случайным образом на шкале времени.

Анализ управления закрепленной ОГ возможен как при детерминированном, так и случайном описании взаимодействия ОЦУП КА → ИП → КА. Детерминированный подход, хотя и позволяет получить при определенных условиях достаточно точные результаты, в то же время обладает существенной ограниченностью. Поэтому общие выводы могут быть получены лишь при использовании случайных моделей [1]. В связи с этим будем в дальнейшем пользоваться представлениями теории систем массового обслуживания (СМО). При этом описание функциони-

рования СМО должно производиться с учетом целевого назначения системы управления КА. В этой связи могут рассматриваться единые (универсальные) и специализированные СМО [2]. Математический аппарат теории СМО в наибольшей степени приспособлен для описания единых СМО. Эти системы отличаются большим числом обслуживаемых объектов и отсутствием связи между требованиями для различных КА. Однако наличие КА различного класса и назначения усложняет анализ единой СМО.

Зависимость показателей функционирования системы управления КА от свойств входящих в нее элементов также определяет структуру модели НАКУ. Если в системе есть доминирующий элемент, она может считаться неразветвленной [3]. В противном случае имеет место сеть обслуживания. Наконец, важной характеристикой является число радиотехнических станций (РТС), взаимодействующих с одним КА. По этому признаку система сможет осуществлять одноразовое или многократное обслуживание [4]. Следует считать, что аналитические модели целесообразны для систем, характеризующихся однородностью обслуживаемых объектов (т.е. КА) и обслуживающих объектов (т.е. РТС), отсутствием приоритетности и неразветвленностью, когда возможность управления определяется лишь РТС. Относительно других показателей стратегии обслуживания могут быть сделаны различные предположения. Однако во всех случаях аналитические модели соответствуют применению в системе простейших планов.

Цель статьи – проведение исследования возможности управления закрепленной орбитальной группировкой КА единым ЦУП.

Для оценки возможности управления охарактеризуем число обслуживаемых объектов M при фиксированной вероятности отказа в обслуживании $q_{от}$ или величиной $q_{от}$ при фиксированном M . Учитывая, что в начальный период число объектов не фиксировано, что предполагает наращивание ОГ, будем считать первую характеристику управления более предпочтительной. Таким образом, задача оценки возможности управления сводится к отысканию зависимости $q_{от}$ от числа обслуживающих объектов, учитывая характеристики СМО.

В рамках аналитического рассмотрения целесообразно использовать модель, которая основана на предположении о стохастическом потоке требований на обслуживание. Как интервалы между смежными требованиями, так и длительности обслуживания распределены по показательному закону со средними значениями λ_0 и $\tau_{об}$ соответственно.

Время обслуживания $\tau_{об}$ включает в себя как сеансы связи, так и интервалы между ними. Принимается также, что обслуживание циклическое

с максимально допустимыми интервалами между смежными обслуживаемыми $T_{ц0}$. Тогда общее количество РТС в составе наземного комплекса управления КА будет равно

$$N = nT_{ц0}^{-1}\tau_{об},$$

где n – число используемых РТС в одном сеансе; $\tau_{об}$ – длительность обслуживания.

При обслуживании КА несколькими РТС среднее значение интервала времени выполнения системой требований в случае непрерывной загрузки составляет $\mu_n = N^{-1}\tau_{об}$. Тогда среднее относительное время загрузки системы

$$\varphi_0 = \lambda_0^{-1}\mu_n = M\tau_{об}N^{-1}T_{ц0}^{-1}, \quad (1)$$

где N – общее число РТС в составе НКУ КА; M – число обслуживаемых объектов; λ_0 – интервал между смежными требованиями.

В системах с высокой пропускной способностью необходимо выполнение условия $q_{от} \ll 1$. Отсюда следует, что и φ_0 также должна быть много меньше 1, т.е. система должна большую часть времени находиться в состоянии готовности. Дополнительно предположение заключается в том, что $N \geq 1$. Это позволяет считать СМО разомкнутой, т.е. имеющей бесконечно большее число обслуживаемых объектов.

Принятые предположения позволяют оценить возможность управления на основе представления о классической разомкнутой СМО с рядом обслуживаемых приборов. Однако рассматриваемая система отличается от классической отсутствием в явном виде накопителя, содержащего объекты, ожидающие обслуживания. При этом рациональное предложение о стратегии обслуживания заключается в динамическом цикле обслуживания. Длительность реального цикла обслуживания находится в пределах $T_{ц\min} \leq T_{ц} \leq T_{ц0}$, где $T_{ц\min}$ связан с перегрузкой СМО. Таким образом, в системе вводится интервал ожидания $\tau_{ож}$, причем:

$$\tau_{ож\min} = 0; \tau_{ож\max} = T_{ц0} - T_{ц\min}.$$

Отказ в обслуживании наступает тогда, когда интервал ожидания $\tau_{ож}$, при котором все РТС оказываются занятыми, превысит $\tau_{ож\max}$. Указанное предложение существенно отличается от классического представления. Однако если принять предложения о наличии некоторой дисциплины обслуживания, заключающееся в преимущественном обслуживании таких объектов, которые наиболее долго находятся в ожидании.

Очевидно также, что за счет введения $\tau_{\text{ож}}$ интенсивность потока требований на обслуживание возрастает и составляет

$$\lambda = \lambda_0 (1 - \tau_{\text{ож}} / T_{\text{ц0}})^{-1};$$

где $\tau_{\text{ож}}$ – среднее значение интервала ожидания.

Найдем теперь вероятность событий $\tau_{\text{ож}} > \tau_{\text{ожmax}}$. Учитывая принятое предложение об отказе обслуживания, определяем

$$q_{\text{от}} = q(\tau_{\text{ож}} > \tau_{\text{ожmax}}) = \left[N^N \Psi^N / N!(1 - \Psi) \right] \rho_0 \exp[-(\mu_n - \lambda)\tau_{\text{ожmax}}], \quad (2)$$

где $\rho_0 = \left[N^N \Psi^N / N!(1 - \Psi) \right] + \sum_{i=0}^{N-1} N^i \Psi^i / i!$; $\Psi = \lambda \mu_n$ – суммарная интенсивность источника.

Экспоненциальный множитель в выражении (2) характеризует уменьшение вероятности $q_{\text{от}}$ вследствие введения интервала ожидания.

В настоящее время за Национальным центром управления и испытаний космических средств (НЦУИКС) закреплена ОГ в составе КА: «Гранат», «Интербол-1», «СИЧ-1» и «Интербол-2». Учитывая разработанный выше метод, оценим возможность функционирования ОЦУП КА НЦУИКС. Из выражения (1) получим среднее относительное время загрузки для каждого типа КА, входящего в ОГ:

- 1) «Гранат»: $M = 1$; $\tau_{\text{об}} = 98$; $N = 1$; $T_{\text{ц0}} = 480$; $\phi_{\text{гр}} = 0,2$;
- 2) «Интербол-1»: $M = 1$; $\tau_{\text{об}} = 98$; $N = 1$; $T_{\text{ц0}} = 480$; ϕ и $1 = 0,2$;
- 3) «СИЧ-1»: $M = 1$; $\tau_{\text{об}} = 1,5$; $N = 1$; $T_{\text{ц0}} = 168$; ϕ и $c = 0,008$;
- 4) «Интербол-2»: $M = 1$; $\tau_{\text{об}} = 6$; $N = 1$; $T_{\text{ц0}} = 240$; ϕ и $2 = 0,025$.

Как видно из приведенных выражений, все орбитальные системы в отдельности удовлетворяют требованиям гибкости управления $\phi \ll 1$, т.е. находятся большую часть времени в состоянии готовности.

Таким образом, получим среднее время загрузки ОЦУП КА, для простоты используя приведенные показатели τ^* , N^* , $T_{\text{ц0}}^*$, учитывающие смежную работу по нескольким КА, совмещение ИП и используемых на них РТС или элементов наземных контуров управления различных КА. Так как состав НКУ КА «Гранат», «Интербол-1», «Интербол-2» в основном является одинаковым и отличающимся от НКУ КА «СИЧ-1», то представляется целесообразным производить оценку по наиболее загруженному НКУ КА:

$$\phi^* \approx 0,075 \text{ при } \mu = 3, \tau^* = 6, N^* = 1, T_{\text{ц0}}^* = 240.$$

Оценим возможность управления закрепленной ОГ ОЦУП КА, используя показатель вероятности отказа в обслуживании $q_{от}$ в соответствии с формулой (2). При этом используем допущение

$$\tau_{ож} = \frac{1}{2} T_{цо} \Rightarrow \Psi = \frac{2\tau_{об}}{T_{цо}}.$$

Тогда для обслуживаемых КА вероятность отказа $q_{от}$ будет составлять:

- 1) «Гранат»: $q_0 = 15,6 \times 10^{-3}$;
- 2) «Интербол-1»: $q_0 = 15,6 \times 10^{-3}$;
- 3) «Сич-1»: $q_0 = 62 \times 10^{-3}$;
- 4) «Интербол-2»: $q_0 = 19,2 \times 10^{-3}$.

При этом общая вероятность отказа в обслуживании ОЦУП КА равна:

– для НКУ КА «Гранат», «Интербол-1» и «Интербол-2»:

$$q_{от}^* = 1 - (1 - q_{от1}) \times (1 - q_{от2}) \times (1 - q_{от4}) = 0,05;$$

– для НКУ КА «Сич-1»:

$$q_{отс}^* = q_{от3} = 0,052,$$

что полностью соответствует предъявленным требованиям к возможности управления ОЦУП КА закрепленной орбитальной группировкой КА.

Вывод. Полученные результаты подтверждают потенциальные возможности ОЦУП КА в условиях однопунктной технологии управления по наращиванию орбитальной группировки, как по международным проектам, так и в рамках национальной космической программы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козелков С.В. Методы повышения эффективности функционирования систем управления космической и наземной группировками в условиях активного противодействия // Тез. докл. 10 НТК в/ч 32103. – МО. – 1989. – С. 47.
2. Козелков С.В. Управление космической и наземной группировками на основе использования перспективных систем вооружения и повышения их живучести // Тез. докл. 10 НТК в/ч 32103. – МО. – 1989. – С. 47.
3. Ададуров С.Е., Стогов Г.В. Адаптивный алгоритм обнаружения-оценивания // Пути повышения устойчивости функционирования радиотехнических комплексов. – МО. – 1988. – Вып. 61. – С. 3.
4. Мельников Б.Г., Мусаев А.А. Методы и алгоритмы фильтрации измерений: учебное пособие. – МО СССР, 1988. – 55 с.

Поступила 26.12.2003

ИЛЮШКО Виктор Михайлович, доктор технических наук, профессор, декан аэрокосмического факультета НАУ «ХАИ». Область научных интересов – системы управления летательными аппаратами.

КОЗЕЛКОВА Екатерина Сергеевна, студентка аэрокосмического факультета НАУ «ХАИ».
