

# Исследование пропускной способности наземного комплекса управления многоспутниковой орбитальной группировкой

А. С. Гарагуля, В. С. Куликов, С. С. Устинов  
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

**Аннотация.** В данной статье рассматривается теоретическая нагрузка на средства наземного комплекса управления (НКУ) при развертывании многоспутниковых орбитальных группировок. С помощью промоделированной многоспутниковой орбитальной группировки авторы рассчитывают количество аппаратов, которые одновременно могут находиться в зонах радиовидимости и прогнозируют необходимое количество сеансов управления, приходящееся на каждое радиоэлектронное средство управления космическими аппаратами для поддержания орбитальной группировки в исправном состоянии. Проведенное исследование может быть использовано при формулировании требований к радиоэлектронным средствам управления космических аппаратов.

**Ключевые слова:** многоспутниковые орбитальные группировки, наземный комплекс управления, радиоэлектронные средства управления космическими аппаратами

## I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из ведущих тенденций является развертывание в космическом пространстве многоспутниковых орбитальных группировок на основе малых космических аппаратов (КА). Это обусловлено такими их достоинствами, как низкая стоимость и высокая скорость изготовления, возможность потокового производства, возможность группового запуска большого количества КА, глобальность предоставления сервисов развернутой космической системы, недостижимые в традиционных малочисленных орбитальных группировках средних и больших КА [2].

Яркими примерами таких орбитальных группировок (ОГ) являются Starlink и OneWeb, предназначенные для глобального доступа к широкополосному интернету, и обеспечения «интернета вещей».

В Российской Федерации ведутся аналогичные работы. Согласно федеральной целевой программы (ФЦП) «Сфера», одним из приоритетных направлений в космической деятельности является переход к многоспутниковым орбитальным группировкам на основе малых КА. В отличие от зарубежных проектов, космическая система «Сфера» будет содержать несколько различных типов аппаратов, самыми многочисленными из которых будут малые КА «Марафон IoT», предназначенные для создания глобальной сети и передачи данных «интернета вещей». ОГ КА этого типа будет состоять из 264 космических аппаратов в 12 плоскостях по 22 КА в каждой, на круговой орбите высотой 750 км [3]. Всего в «Сфере» будет более 600 КА.

Такое количество малых КА требует значительных ресурсов для осуществления координации, планирования и непосредственного управления многоспутниковой орбитальной группировкой. Значительное увеличение числа КА входящих в состав новых многоспутниковых орбитальных группировок приведет к значительному повышению нагрузки на существующие радиоэлектронные средства (РЭС) управления КА и, как следствие, невозможности проведения всех требуемых сеансов управления (СУ).

## II. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕБУЕМОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ НКУ ПРИ УПРАВЛЕНИИ МНОГОСПУТНИКОВЫМИ ОРБИТАЛЬНЫМИ ГРУППИРОВКАМИ

Для прогнозирования загрузки РЭС управления КА наземного комплекса управления (НКУ) при управлении многоспутниковой орбитальной группировкой «Марафон IoT» в среде Matlab была разработана программная модель, позволяющая рассчитывать траектории полета КА [1], задавать местоположение пунктов управления, рассчитывать зоны обслуживания и другие необходимые параметры. Общий вид модели орбитальной группировки представлен на рис. 1.

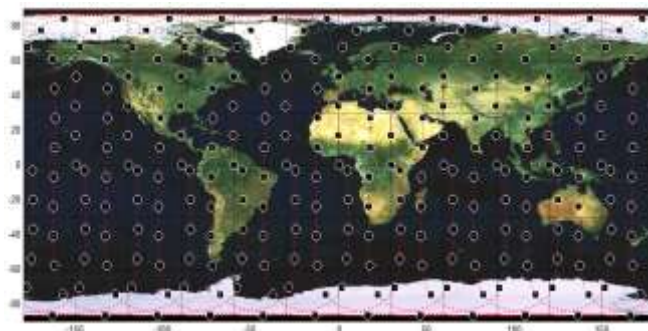


Рис. 1. Построение орбитальной группировки «Марафон-IoT»

Результаты моделирования показали, что в среднем над территорией Российской Федерации будет находиться до 50 КА «Марафон-IoT», что составляет 19 % от общей численности ОГ.

Осуществлен расчёт количества аппаратов, которые будут находиться в зоне радиовидимости одного средства управления [4]. В среднем десять КА будут находиться в зоне радиовидимости РЭС управления КА.

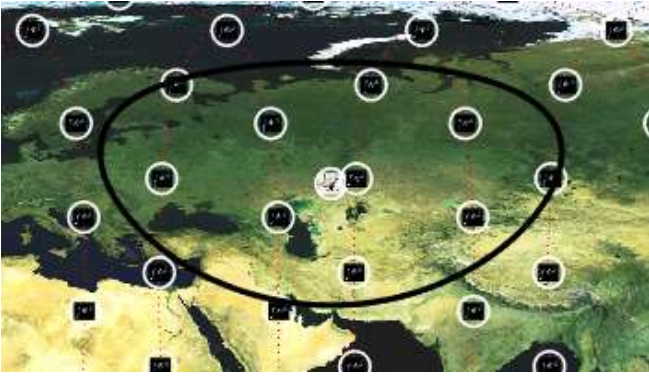


Рис. 2. Зона радиовидимости средства управления ОГ «Марафон-ЮТ»

Рассмотрим предполагаемый НКУ, состоящий из  $N$  отдельных пунктов управления КА.

Пусть:

$$N_{КА} = \{N_{КА1}, N_{КА2}, \dots, N_{КАn}\} - \text{множество КА};$$

$$N_{РЭС} = \{N_{РЭС1}, N_{РЭС2}, \dots, N_{РЭСn}\} - \text{множество РЭС};$$

$$K_{РЭС} = \{K_{РЭС1}, K_{РЭС2}, \dots, K_{РЭСn}\} - \text{множество сеансов управления РЭС};$$

$$K_{НКУ} = \{K_{НКУ1}, K_{НКУ2}, \dots, K_{НКУn}\} - \text{множество сеансов управления НКУ}.$$

Тогда количество сеансов управления в сутки, требуемого для успешного функционирования орбитальной группировки с учетом резервирования [3] РЭС рассчитывается по формуле:

$$K_{НКУ} = 2 \cdot N_{КА} \cdot N_{СУ}, \quad (1)$$

где  $N_{СУ}$  – необходимое количество сеансов управления в сутки отдельным космическим аппаратом.

При равномерной нагрузке на все пункты управления КА, среднесуточное количество сеансов управления для отдельной РЭС определяется по формуле:

$$K_{РЭС} = \frac{K_{НКУ}}{N_{РЭС}}, \quad (2)$$

В связи с тем, что на данный момент КА Марафон находится в разработке, технологический цикл управления, позволяющий оценить количество проводимых сеансов управления и задействованных средств не сформирован. Опыт эксплуатации отечественных и иностранных КА позволяет оценить требуемое количество сеансов управления от двух до пяти для каждого аппарата в течение суток [2].

На основе построенной модели ОГ «Марафон ЮТ» и выражений (1) и (2) составлена табл. 1, в которой отражено количество сеансов управления, которые будут приходиться на отдельную РЭС управления КА при различных численностях НКУ.

ТАБЛИЦА I Изменение количества аппаратов в ЗРВ при увеличении орбитальной группировки

Численность НКУ	Суточное количество сеансов управления для каждой РЭС управления при 2, 3 и 5 сеансах связи с каждым КА:		
	2	3	5
8	132	198	330
12	88	132	220
16	66	99	165
20	52,8	79,2	132
24	44	66	110

По результатам расчётов, представленных в табл. 1 можно сделать вывод, что возможный НКУ должен состоять минимум из 24 средств распределенных по территории РФ, исходя из среднего времени эксплуатации РЭС 22 часа в сутки. Рис. 3 отражает характер изменения суточной пропускной способности РЭС управления КА, выражающейся в суммарном количестве СУ, проводимых с орбитальной группировкой численностью 264 аппарата при технологическом цикле управления, включающем в себя два, три и пять сеансов в сутки (синяя, красная и зеленая линия соответственно).

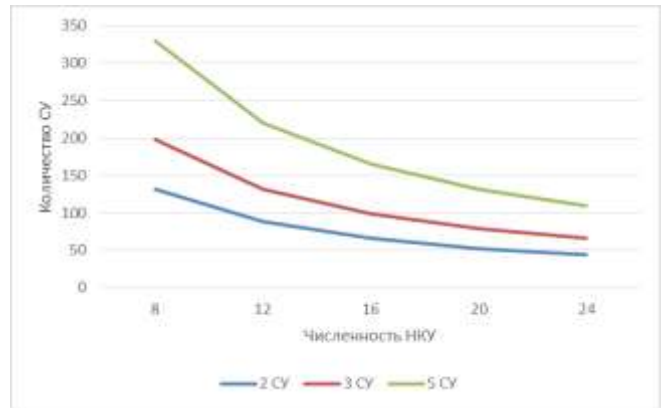


Рис. 3. Количество СУ, проводимых одной РЭС управления КА при различной численности НКУ

Изменения суточного количества сеансов управления для РЭС управления при изменении общей численности орбитальной группировки в случае, когда НКУ состоит из 24 пунктов управления, представлены в табл. 2.

ТАБЛИЦА II Изменение количества аппаратов в ЗРВ при увеличении орбитальной группировки

Численность ОГ	Суточное количество сеансов управления для каждой РЭС управления при 2, 3 и 5 сеансах связи с каждым КА:		
	2	3	5
264	44	66	110
396	66	99	165
528	88	132	220
660	110	165	275

По результатам, представленным в табл. 2 можно сделать вывод, что даже при численности ОГ в 264 аппарата и проведении всего двух СУ для каждого, на РЭС управления КА будет приходиться значительная нагрузка.

Изменение потенциальной суточной нагрузки отдельного пункта управления КА, входящего в НКУ из 24 отдельных пунктов при различных численностях ОГ и разном количестве сеансов представлено на рис. 4.

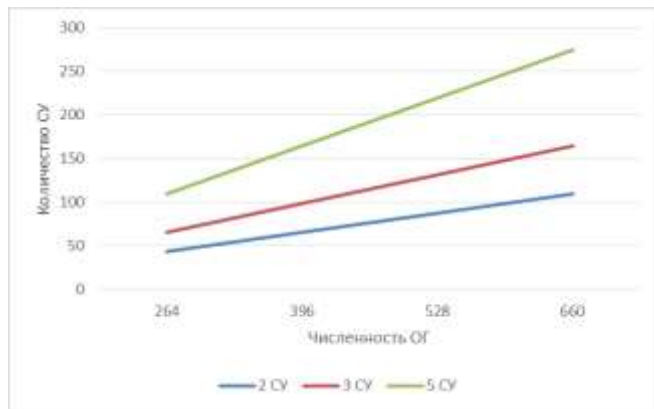


Рис. 4. Количество СУ, проводимых одной РЭС управления КА при различных численностях ОГ

На рис. 5 представлены зависимости, характеризующие пропускную способность НКУ многоспутниковой орбитальной группировки. Зависимости построены для НКУ, содержащего 24 пунктов управления, при значении количества КА варьирующимся от 264 до 660 и разном числе сеансов в сутки. В предельном случае, для 660 КА и пяти сеансов в сутки для каждого КА НКУ должен обеспечивать проведение около 6600 сеансов управления с учетом резервирования.

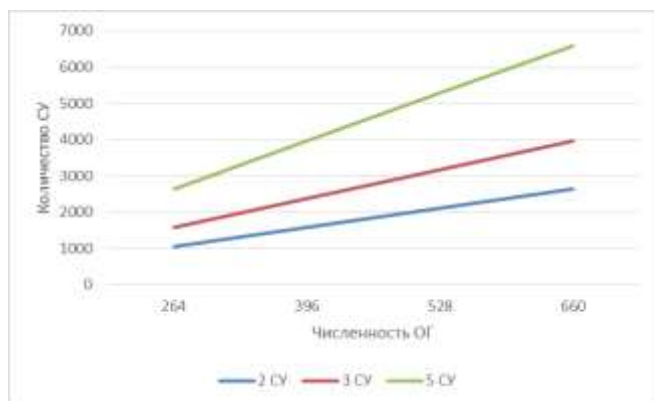


Рис. 5. Количество СУ, проводимых НКУ при различных численностях ОГ

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что применение многоспутниковых орбитальных группировок на основе малых космических аппаратов при использовании традиционного подхода к управлению космическими аппаратами требует значительно большего количества РЭС управления КА и существенно повышает нагрузку на отдельное средство. Создание такого комплекса управления приведет к существенным затратам и усложнит задачу управления орбитальной группировкой.

Эффективная реализация управления многоспутниковыми космическими системами требует создания новых методов и средств управления. Одним из направлений решения этой задачи может быть создание сигнально-кодовых конструкций для группового управления космическими аппаратами многоспутниковых орбитальных группировок.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Аверкиев Н.Ф., Богачев С.А. Основы теории полета летательных аппаратов. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2013. 242 с.
- [2] Карацан И.Н. Наземный комплекс управления для малых космических аппаратов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. 2009. №1. С. 89-92.
- [3] Реализация проектов «Марафон IoT» и «Скиф» / Официальный сайт Роскосмос. URL: [http:// https://www.roscosmos.ru/33835/](http://https://www.roscosmos.ru/33835/) (дата обращения: 14.02.2022).
- [4] Спутниковая связь и вещание: Справочник / Под. ред. Л.Я. Кантора. М.: Радио и связь, 1997. 528 с.