

дённных ранее функционалов. Данная подзадача является многомерной, так как включает большое количество параметров, характеризующих конструкцию отсека с одной стороны в виде геометрических величин и связку габаритных и эргономических требований с другой стороны в виде логических выражений. В связи с этим требуется отдельное исследование, каким образом можно вычислить параметры компоновки за неимением результатов экспериментальной отработки. Очевидно, что в предельном случае искомое расстояние между точками установки двух БГ по продольной оси будет равно длине отсека, но этого не удаётся реализовать на практике. Таким образом, рассмотренная задача в ряде частных случаев должна приобрести некоторое методическое продолжение.

Библиографический список

1. Основы компоновки бортового оборудования космических аппаратов: учебное пособие / А.В. Туманов, В.В. Зеленцов, Г.А. Щеглов. – 3-е изд., испр. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 572, [4] с.

2. Технология сборки и испытаний космических аппаратов: Учебник для высших учебных заведений / И.Т. Беляков, И.А. Зернов, Е.Г. Антонов и др.; Под общ. ред. И.Т. Белякова и И.А. Зернова. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.

3. Ключников А.В., Васильев М.А., Патокина Н.Е., Абышев Н.А., Криковцов Д.А. Конструкции и пути совершенствования систем контроля характеристик геометрии масс летательных аппаратов // НиКСС. 2018. №3 (23).

УДК 629.78

Иванушкин М.А.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСПУТНИКОВОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ

Повышение требований к глобальности и периодичности наблюдения земной поверхности, оперативности получения и доставки информации потребителям обуславливает возникшую потребность в создании космических систем (КС), состоящих из большего числа космических аппаратов.

Анализ существующих космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяет сделать вывод, что в части создания современных КС ДЗЗ обозначился тренд на разворачивание многоспутниковых группировок, состоящих из малых космических аппаратов (КА), находящихся на низкой околокруговой солнечно-синхронной орбите с высотой, не превышающей 700 км [1,2]. Це-

лью создания таких систем является стремление к обеспечению глобальности и непрерывности обзора Земли.

Использование большого количества малых космических аппаратов в одной космической системе позволяет добиться качественно новых свойств таких систем. Например, для КС ДЗЗ возможна реализация следующих системных эффектов [3]:

- многопозиционность, многодиапазонность и одновременное наблюдение за объектом с нескольких спутников, обеспечение эффекта стереосъёмки;
- возможность комплексирования информации, получаемой от разнородных бортовых комплексов специальной аппаратуры различных спутников, приводящей к повышению информативности наблюдения;
- обеспечение непрерывности наблюдения за счёт возможности «передачи эстафеты» наблюдения последовательно входящим в зону видимости объекта другим спутникам орбитальной группировки.

В зависимости от характеристик целевой аппаратуры и высот рабочих орбит для обеспечения глобальности и непрерывности обзора (проведение квазипостоянной съёмки земной поверхности) в состав космической системы наблюдения могут входить от нескольких десятков до нескольких сотен малых космических аппаратов. Большое число космических аппаратов в орбитальной группировке, в совокупности с производительной аппаратурой наблюдения приводит к лавинообразному росту объёмов накапливаемой в системе информации [4]. Решением данной проблемы может стать перераспределение объёмов информации между аппаратами многоспутниковой группировки путём организации межспутниковой связи для оперативной передачи данных дистанционного зондирования Земли на наземные пункты приёма.

В связи с этим, при ожидаемом росте количества аппаратов в орбитальной группировке, целью работы является разработка методики выбора проектных параметров многоспутниковой космической системы, обеспечивающей глобальный непрерывный мониторинг Земли, с учётом ограниченных ресурсов бортовых и наземных информационных комплексов, а также технологий межспутникового взаимодействия.

Космическая система наблюдения, решающая задачи глобального и непрерывного мониторинга (КС ГНО), представляет собой группировку функционально взаимосвязанных космических аппаратов расположенных на орбитах, таким образом, чтобы любая точка Земли в любой момент времени входила в зону обзора как минимум одного КА ДЗЗ. При этом, должна быть обеспечена оперативная передача заявок потребителей на съёмку, а также последующая оперативная передача полученных данных потребителям на Землю.

Сформулируем ряд требований, которым должна удовлетворять система глобального непрерывного мониторинга земной поверхности:

- глобальный обзор поверхности Земли ($B_{набл} = \{\varphi = \pm 90^\circ, \lambda = 0 \dots 360^\circ\}$);
- непрерывный обзор поверхности Земли (периодичность – $t_{пер} \approx 0$);
- съёмка поверхности Земли должна проводиться с помощью оптико-электронной аппаратуры наблюдения с разрешением $R = 1 \dots 5$ м;
- орбита каждого КА должна быть круговой;
- оперативность доставки информации должна стремиться к минимуму ($t_{он} \rightarrow \min$);
- центральный угол Земли между КА группировки должен удовлетворять условию $\Theta_{\min} < \Theta < \Theta_{\max}$, когда спутники находятся в прямой видимости для обеспечения межспутниковой связи.

Задача выбора проектных параметров КС ГНО является многокритериальной. В терминах математического программирования такая задача формулируется следующим образом:

Необходимо найти вектор проектных параметров $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T$, который позволяет найти минимум функций $f_1(\mathbf{X}), f_2(\mathbf{X}), \dots, f_k(\mathbf{X})$, при ограничениях $g_j(\mathbf{X}) \leq 0, j = 1, 2, \dots, m$, где k – число целевых функций, которые должны быть минимизированы. При этом любая функция из $f_i(\mathbf{X})$ и $g_j(\mathbf{X})$ может быть нелинейной.

Выбор предпочтительного варианта формирования КС ГНО происходит на основе следующих критериев эффективности:

- минимум КА, задействованных для решения задачи КС;
- минимальное количество орбитальных плоскостей;
- минимальное время доставки информации;
- минимальная периодичность наблюдения заданной территории.

Предлагаемая методика основывается на выборе основных проектных параметров многоспутниковой космической системы глобального непрерывного мониторинга Земли из множества допустимых решений, удовлетворяющих выбранному критерию.

Будем рассматривать КС ГНО как трёхуровневую систему, в состав которой входят:

- орбитальный комплекс $F_{КС ГНО} = \{N_{КА}, X\}$;
- космические аппараты ДЗЗ $F_{КА} = \{F_{ОЭА}, F_{БЗУ}, F_{СПИ}\}$;

– бортовые системы КА $F_{ОЭА} = \{G, \gamma_{ОЭА}, R, I_{ОЭА}\}$, $F_{БЗУ} = \{V_{БЗУ}, I_{БЗУ}, t_{БЗУ}\}$,
 $F_{СПИ} = \{W_{СПИ}, D_{СПИ}\}$.

Каждый уровень описывается соответствующими математическими моделями. Уровень космической систем представлен моделью орбитальной структуры и моделью взаимной видимости КА. На данном уровне должны быть определены такие проектные параметры системы, как количество КА, обеспечивающих глобальный и непрерывный обзор, орбитальные параметры системы (высоту орбиты, наклонение, распределение по долготе восходящего узла и по аргументу широты), а также такие параметры орбитальной структуры, чтобы обеспечивалось условия взаимной видимости КА, для обеспечения межспутниковой связи.

Уровень КА и его бортовых систем представлен моделью информационных потоков, генерируемых целевой аппаратурой наблюдения и моделью функционирования бортового запоминающего и приёмо-передающих устройств космического аппарата.

Модели орбитальной структуры и информационных потоков целевой аппаратуры связаны между собой с помощью модели информационного обмена наземного пункта приёма космической информации с аппаратами группировки. Эта модель является внешней по отношению к космической системе глобального непрерывного обзора и учитывает ограничение на географическое расположение наземных станций приёма.

Процедура поиска оптимального решения происходит совместно с алгоритмом маршрутизации целевой информации и продолжается до тех пор, пока не будет получено решение, удовлетворяющее выбранному критерию эффективности.

Таким образом, в работе предложена методика выбора проектных параметров многоспутниковой космической системы, обеспечивающей глобальный непрерывный мониторинг Земли, с учётом ограниченных ресурсов бортовых и наземных информационных комплексов, а также технологий межспутникового взаимодействия.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 22-29-01092, <https://rscf.ru/project/22-29-01092/>.

Библиографический список

1. Сафронов, С.Л. Современные подходы к созданию малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли на базе унифицированных платформ / С.Л. Сафронов, И.С. Ткаченко, М.А. Иванушкин, С.С. Волгин; под ред. засл. деятеля науки РФ, д-ра техн. наук, проф. В.В. Салмина. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2019. – 276 с.

2. Бакланов, А. И. Новые горизонты космических систем оптико- электронного наблюдения земли высокого разрешения / А. И. Бакланов // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2018. – Часть II, Т. 5, Вып. 4. – С. 14-27.

3. Потюпкин, А.Ю. Кластеры малоразмерных космических аппаратов как новый тип космических объектов / А.Ю. Потюпкин, Н.С. Данилин, А.С. Селиванов // Ракетнокосмическое приборостроение и информационные системы. – 2017. – Т. 4. – Вып. 4. – С. 45-56.

4. Емельянов, А.А. Анализ и формирование показателей эффективности в задаче распределения потоков целевой информации при функционировании космических систем ДЗЗ / А.А. Емельянов, В.В. Малышев, А.В. Старков, Л.А. Гришанцева, К.И. Зубкова, Зай Яр Вин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. –№8. – С. 28-31.

УДК 531.36, 629.7

Ким А.С.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ СРЕДНЕГО КЛАССА С МНОГОРАЗОВЫМ РАКЕТНЫМ БЛОКОМ ПЕРВОЙ СТУПЕНИ

Создание конкурентноспособных средств выведения полезных нагрузок в космос сегодня тесно связано с идеей создания частично многоразовых систем.

На рис. 1 представлены некоторые проекты ракет-носителей (РН) с возвращаемыми ракетными блоками и их текущие состояния (стадии разработки или эксплуатации).

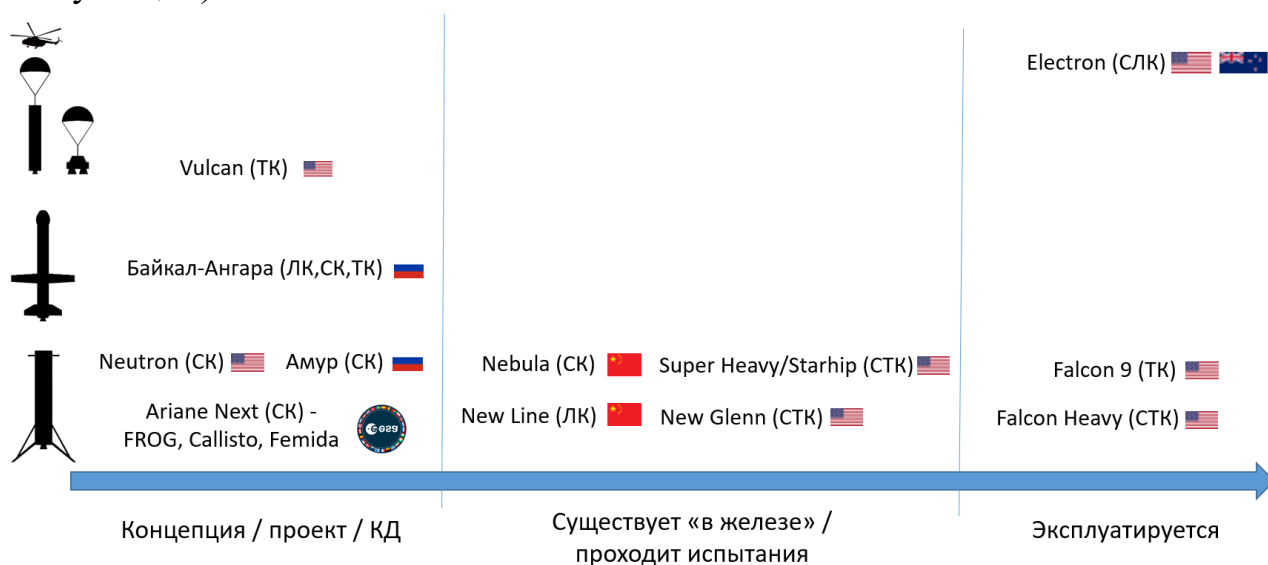


Рис. 1. Проекты многоразовых РН и их текущие стадии