

## **МЕТОДИКА РАЗМЕЩЕНИЯ ВНЕШНИХ УСТРОЙСТВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЗЗ С УЧЁТОМ ЦЕЛЕВЫХ РАЗВОРОТОВ**

Современные космические аппараты (КА) детального оперативного дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) характеризуются наличием большого количества внешних устройств (ВУ). К таким устройствам относятся солнечные батареи (БС), радиаторы охлаждения (РО), звёздные датчики (ЗД), антенны высокоскоростной радиолинии (ВРЛ), передающие устройства межспутниковой лазерной системы передачи информации (МЛСПИ), антенны системы спутниковой навигации (ССН).

Одной из важных задач на начальных этапах проектирования является размещение ВУ на корпусе КА, оказывающих существенное влияние на проектный облик КА и целевые характеристики (производительность съёмки, оперативность доставки видеоинформации на Землю, точность привязки координат снимка и др.), а также на частные показатели эффективности бортовых систем (среднесуточная мощность солнечной батареи, мощность системы терморегулирования и др.).

Решение задачи размещения ВУ на КА зависит от множества факторов. Особенность задачи заключается в сложном программном угловом движении КА вокруг центра масс в процессе орбитального полёта, поскольку снимаемые участки земной поверхности произвольным образом расположены относительно трассы полёта КА в полосе обзора, изменяется положение ВУ относительно внешних объектов (ВО): астрофизических (Солнце, звезды), искусственных (спутник-ретранслятор, навигационные спутники). Соответственно изменяется эффективность функционирования ВУ в течение орбитального полета КА. Для БС и радиаторов РО изменяется освещенность Солнцем, для антенных устройств (АУ) - зона радиовидимости, для ЗД - зона обзора звездного неба. Таким образом, возникают задачи выбора мест установки ВУ на КА с учетом их функционирования в условиях переменного положения КА, имеющего поведенческий характер.

Аналитическим путем решить такую задачу практически не удастся, поэтому на начальных этапах проектирования, как правило, используется эмпирический подход. Отметим, что известны аналитические модели для выбора оптимального угла установки неориентируемых БС [1], однако эти модели пригодны только для солнечно-синхронных орбит и не учитывают поведенческий характер разворотов КА при целевом функционировании.

В целом, существующие методики решения данной задачи имеют ограничения по номенклатуре рассматриваемых внешних устройств КА, по количеству учитываемых факторов, не позволяют проводить оценку показателей эффективности в динамике, в том числе не позволяют учитывать особенность разворотов КА в процессе целевого функционирования. Предлагаемый алгоритмический подход к размещению внешних устройств на низкоорбитальных КА наблюдения в литературе не встречается.

**Целью работы** является создание методического и программного обеспечения для выбора на начальных этапах проектирования мест установки и пространственной ориентации внешних элементов на КА ДЗЗ на основе моделирования орбитального движения и разворотов КА по целевому функционированию с учётом назначения каждого ВУ, взаимного экранирования и критериев выбора.

Для достижения цели разработаны или усовершенствованы:

- математические модели, целевые функции и алгоритмы, отличающиеся тем, что они применимы в задачах оценки показателей эффективности при выборе мест и ориентации внешних устройств КА ДЗЗ на основе использования имитационного моделирования орбитального полёта и разворотов КА при целевом функционировании, поведенческий характер которых путем рандомизации переводится в разряд случайных;

- частные математические модели, интегрированные в существующее методическое обеспечение, которые используются для оценки нахождения КА в различных фазах функционирования с учётом случайных разворотов; модели экономичны в вычислительном плане;

- программное обеспечение, с помощью которого появилась возможность вычислять показатели эффективности при выборе мест установки и ориентации внешних устройств КА ДЗЗ на основе имитационного моделирования.

На основе данных разработок предложена методика выбора предпочтительных мест установки и ориентации внешних устройств КА ДЗЗ, отличающаяся от существующих тем, что оценка показателей эффективности производится на основе имитационного моделирования КА ДЗЗ с учётом назначения каждого ВУ, его геометрии и экранирования, а также с учётом моделирования условий эксплуатации.

Для решения частных задач использовались методы твёрдотельного моделирования, методы объектно-ориентированного программирования, аналитические и статистические методы моделирования.

Ниже, как пример, приведена суть моделирования для оценки показателя эффективности при выборе мест и углов установки передающих устройств МЛСПИ.

Показателем эффективности является относительное время взаимной видимости передающих устройств МЛСПИ и спутника-ретранслятора (СР), в качестве критерия принято максимальное значение этого времени.

Расчётная схема КА представлена на рисунке 1. На этой схеме введены следующие обозначения; НП – направление полёта;  $\vec{v}$  – вектор направления передающих устройств МЛСПИ на СР.

В базовой системе координат КА строится единичный вектор  $\vec{a}$  к плоскости полупространства, в котором оптические головки МЛСПИ не затенены элементами конструкции КА. На каждом временном шаге имитации орбитального движения проверяется условие взаимной видимости (отсутствие экранирования Землёй) КА ДЗЗ и СР без учёта степени затенения антенн КА его элементами конструкции. Если условие взаимной видимости выполняется, то определяются координаты СР и КА ДЗЗ в геоцентрической гринвичской системе координат и рассчитываются координаты единичного вектора  $\vec{e}$  направления луча от КА ДЗЗ к СР.

Далее осуществляется цикл пересчётов из одних координат в другие (подробнее см. в [2]) для определения координат вектора  $\vec{v}$  в базовой системе координат КА. Потом рассчитывается угол  $\eta$  между векторами  $\vec{a}$  и  $\vec{v}$ . Если этот угол менее  $90^\circ$  (косинус этого угла положительный), то СР находится в полупространстве, в котором установлена направленная антенна МЛСПИ, и, следовательно, экранирование передающих антенн корпусом КА наблюдения отсутствует.

Осуществляется суммирование данного временного шага имитации и регистрируется накопленное время видимости антенн МЛСПИ с СР, т.е. показателя эффективности.

Практическая значимость работы заключается в создании программно-математического обеспечения, позволяющее ускорить процесс формирования и повысить его качество за счет возможности оперативного расчета множества альтернативных вариантов и обеспечивающего выбор наиболее предпочтительных мест установки ВУ на упрощенной геометрической модели КА.

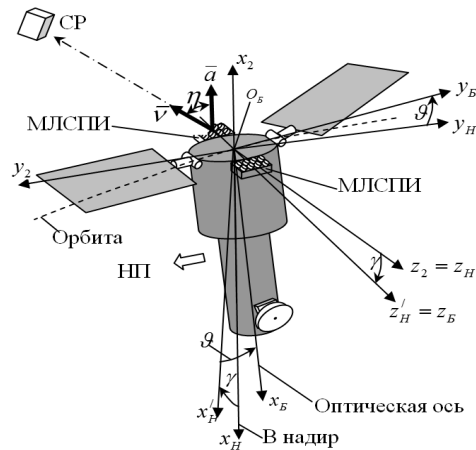


Рисунок 1 – Расчетная схема проектного облика КА

Достоверность полученных результатов подтверждается внедрением в практику работы АО «РКЦ «Прогресс» при проектировании КА ДЗЗ нового поколения, а также «АИСТ-1», «АИСТ-2».

#### Библиографический список

1. Дмитриев, Г.А. Выбор оптимального угла установки неориентируемых солнечных батарей КА, находящегося на круговой солнечно-синхронной орбите [Текст] / Дмитриев Г.А. – Москва: Институт космических исследований РАН // Материалы второй Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (Москва, 16-18 ноября 2004 г.). С 91.

2. Шилов, Л.Б. Проблемы выбора мест установки на КА антенных устройств, для передачи информации на спутник-ретранслятор [Текст] / Л.Б. Шилов // Международный российско-американский научный журнал «Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем: процессы, модели, эксперимент», – Казань: Дайтона Бич. Вып. №2 (37), том 18, 2013, с. 101-115.