

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПАСЕНИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ РАЗГОННЫХ БЛОКОВ

В.И. Зернов, Е.А. Щербакова

В статье рассматривается задача обеспечения экологической чистоты геостационарной орбиты (ГСО) за счет применения многоразовых спасаемых геостационарных разгонных блоков. Меры, предлагаемые в настоящее время, сводятся к использованию «орбиты захоронения» разгонных блоков, которая отличается по высоте от геостационарной орбиты на 100 км. Данный способ приведет лишь к отсрочке критической ситуации загрязнения космического пространства. В качестве способа сведения блока с геостационарной орбиты предлагается параболический переход А. Штернфельда, значительно сокращающий затраты скорости. Расчеты доказывают, что в этом случае многоразовые блоки являются экономически выгодными.

В силу высоких темпов космической деятельности происходит неуклонный рост количества отработавших космических объектов на околоземных орбитах, причем вторичные столкновения объектов между собой представляют серьезную опасность для космических полетов.

Наибольшее количество объектов существует в области геостационарных орбит, при этом в настоящее время в этой области находилось около 800 космических объектов и примерно 400 разгонных блоков (РБ).

Ставится задача проектирования экологически чистых разгонных блоков, не загрязняющих рабочую орбиту.

При решении задачи определяется:

- способы возвращения РБ и оптимальные параметры системы возвращения;
- степень экономической эффективности спасаемых РБ;
- изменение характеристик блоков при введении в их состав систем спасения.

Основанием для решения при постановке данной задачи является успешное выполнение операций спасения РБ типа РБ «Фрегат».

Схема возвращения блока в заданную точку земной поверхности.

В операции спасения блока наиболее важным является:

- обеспечения условий входа в атмосферу Земли с заданными малыми углами при минимальных затратах скорости;
- обеспечение точки входа в атмосферу в непосредственной близости со стартовой позиции, которая для наших условий находится достаточно далеко от экватора.

Посадка в районе стартовой позиции позволяет снизить затраты на подготовку блока к повторному использованию, определяемые коэффициентом регламентно-восстановительных работ. Это

условие требует изменения наклона орбиты возвращения с 0° геостационарной орбиты до 64° соответствующей широте российского космодрома Плесецк. Такая операция непосредственно проводимая на ГСО, связана с очень большими затратами скорости, что исключает техническую возможность спасения блока в данных условиях.

Для снижения затрат скорости предлагается использовать известную идею параболического перехода, предложенную А. Штернфельдом, которая в настоящее время нашла применение при выведении груза на ГСО из северных широт.

Идея состоит в том, что операция изменения наклона орбиты в совокупности с операцией подачи тормозного импульса проводится в апоцентре промежуточной вытянутой эллиптической орбиты. Для перехода на промежуточную орбиту блоку придается разгонный импульс скорости ΔV_1 компланарный плоскости ГСО. Величина импульса является параметром, определяющим радиус апоцентра и значение скорости блока в апоцентре.

При достижении апоцентра блоку придается импульс скорости ΔV_2 под некоторым углом к плоскости переходной орбиты и в направлении обратном скорости в апоцентре, в результате чего реализуется орбита возвращения имеющая нужное наклонение при скорости, обеспечивающей вход в атмосферу Земли с заданным малым углом.

Схема перехода представлена на рис.1, где обозначено:

ΔV_1 – импульс скорости для перехода на промежуточную орбиту;

V_a – скорость в апоцентре промежуточной орбиты;

$\Delta V_a'$ – скорость необходимая для возвращения;

ΔV_2 – импульс скорости для возвращения;

Суммарные затраты скорости складываются из импульсов ΔV_1 и ΔV_2 .

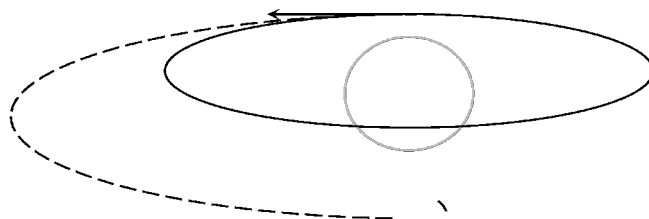


Рис.1. Схема перехода

Результаты расчетов представлены на графиках рис.2, 3 и 4.

На рис. 2 по оси абсцисс отложено значение радиуса апоцентра промежуточной орбиты в км, а по оси ординат отложено значение импульса скорости ΔV_1 в км/с.

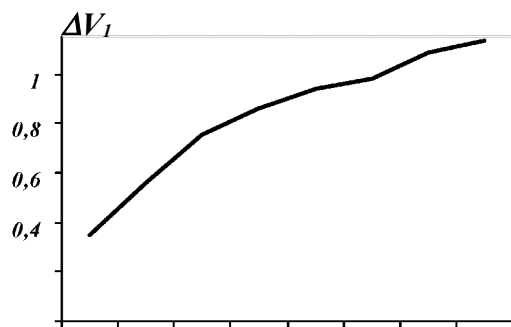


Рис.2. Зависимость импульса скорости ΔV_1 от радиуса апоцентра промежуточной орбиты.

На рис.3. по оси абсцисс отложено значение радиуса апоцентра промежуточной орбиты в км, а по оси ординат значение импульса скорости ΔV_2 в км/с.

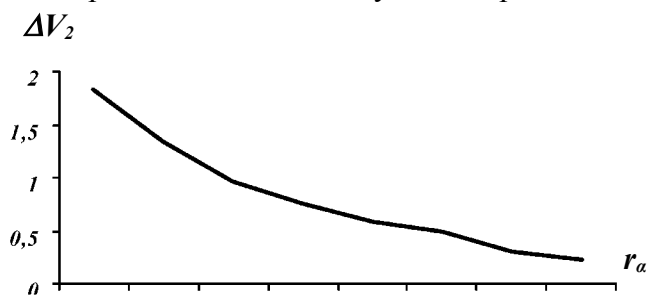


Рис.3. Зависимость импульса скорости ΔV_2 от радиуса апоцентра промежуточной орбиты.

На рис.4 по оси абсцисс отложено значение радиуса апоцентра промежуточной орбиты в км, а по оси ординат значение суммарных затрат скорости V_{Σ} в км/с.

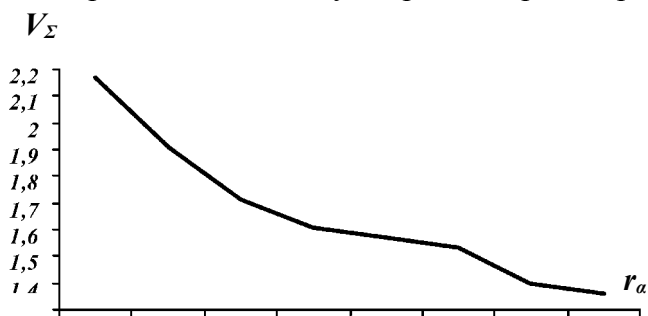


Рис.4. Зависимость суммарных затрат скорости V_{Σ} от радиуса апоцентра промежуточной орбиты.

При увеличении радиуса апоцентра промежуточной орбиты возрастает время выполнения операции возвращения, которая складывается из времени перехода на промежуточную орбиту и времени движения по орбите возвращения.

Результата расчета времени операции представлены на графике рис. 5, где по оси абсцисс отложено значение радиуса апоцентра промежуточной орбиты в км, а по оси ординат время выполнения операции в часах.

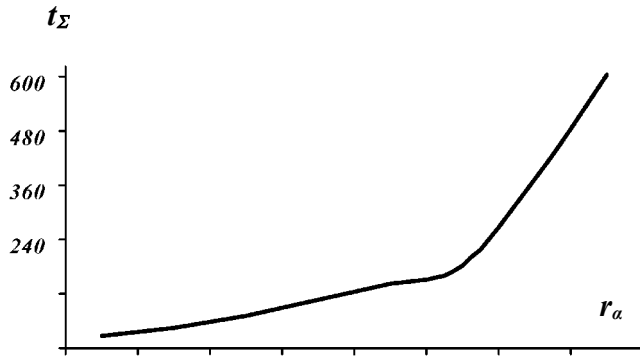


Рис.5. Зависимость времени операции t_Σ от радиуса апоцентра промежуточной орбиты.

В качестве формулы оценки экономической эффективности используется формула, приведенная в учебнике под редакцией В.П. Мишина применительно к многоразовым ЛА.

$$\mathcal{E} = \varphi \cdot \psi \cdot \left(\frac{1}{N} + K_p \right)$$

где:

$\mathcal{E} = \frac{\overline{C}_{МЛА}}{\overline{C}_{ОЛА}}$ – отношение удельной стоимости выведения с помощью многоразового аппарата к удельной стоимости выведения с помощью одноразового аппарата.

φ – коэффициент технического совершенства, который является отношением относительной массы полезного груза одноразового ЛА к относительной массе полезного груза многоразового ЛА.

ψ – коэффициент технологического совершенства, который является отношением удельной стоимости килограмма конструкции многоразового аппарата к удельной стоимости килограмма конструкции одноразового аппарата;

N – кратность использования спасаемого блока;

K_p – коэффициент регламентно-восстановительных работ, которые являются отношением затрат на подготовку к повторному использованию спасаемого блока к стоимости самого блока. Диапазон исследуемой кратности использования принимается от 10 до 20.

Поскольку операция спасения предполагает посадку блока в точке старта то коэффициент K_p может быть принят по статистике аппарата Space Shuttle равным 0,25.

Учитывая, что в системе спасения используются только ракетные технологии коэффициент $\psi = 1$

В затраты массы на систему спасения входят:

- 1) масса топлива для выдачи тормозного импульса для схода с орбиты;
- 2) масса конструкции теплового экрана, воспринимающего нагрузки на атмосферном участке входа;
- 3) масса систем мягкой посадки для окончательного участка траектории.

Коэффициент совершенства φ определяется по формуле: $\varphi = \frac{\mu_{nn}^{ОЛА}}{\mu_{nn}^{МЛА}}$

Система спасения состоит из следующих элементов:

- 1) $m_{\text{торм}}$ – масса тормозного экрана, при этом относительная масса тормозного экрана:

$$\mu_{\text{торм}} = \frac{m_{\text{торм}}}{m_{\text{сyx}}};$$

- 2) $m_{\text{прс}}$ – масса парашютно-реактивной системы, при этом относительная масса:

$$\mu_{\text{прс}} = \frac{m_{\text{прс}}}{m_{\text{сyx}}};$$

- 3) $m_{\text{топ}}$ – масса топлива для схода с орбиты и возвращения блока, относительная масса бу-

$$\text{дет: } \mu_{\text{топ}} = \frac{m_{\text{топл}}}{m_{\text{сyx}}} = 1 - \exp\left(-\frac{V_{\text{торм}}}{I_{\text{удп}}}\right).$$

Окончательно: $\mu_{\text{сн}} = \mu_{\text{торм}} + \mu_{\text{прс}} + \mu_{\text{топ}}$

Окончательно $\varphi = 1,21$ это означает, что на спасаемом блоке мы теряем 21% полезного груза.

При этом рассчитанное значение эффективности \mathcal{E} составляет 0,363, что является явным показателем эффективности спасаемых геостационарных блоков.

По результатам расчета можно сделать следующие выводы:

- 1) С помощью параболического перехода А. Штернфельда можно уменьшить затраты скорости на спасение блока вдвое;
- 2) При возрастании высоты апоцентра возрастает время выполнения операции, которое составит около 30 суток при затратах скорости 1,36 км/с;
- 3) Областью рациональных решений является район околоземной орбиты с высотой апоцентра около 400 000 км. При затратах скорости 1,53 км/с, время выполнения операции составит 180 часов.
- 4) Использование многоразовых разгонных блоков на геостационарных орбитах является экономически выгодным, обеспечивает двойное уменьшение затрат и должно быть обязательным, с учетом требований экологической чистоты геостационарных орбит.

Список используемой литературы:

1. Мишин В.П., Безвербый В.К., Панкратов Б.М., Щеверов Д.Н. Основы проектирования летательных аппаратов. М: Машиностроение, 1985. 360 с.
 2. А. Штернфельд. Полет в мировое пространство. М: Государственное издание технико-теоретической литературы, 1949.
 3. Уманский С. Ракеты-носители. Космодромы. Издательство: «Рестарт+», 2001. 215с.
-

Сведения об авторах:

Зернов Владимир Игорьевич, доцент кафедры «Космических систем и ракетостроения» Московского авиационного института (государственного технического университета), к.т.н.;

Щербакова Елена Александровна, аспирант кафедры «Космических систем и ракетостроения» Московского авиационного института (государственного технического университета); e-mail: yguar14@yandex.ru