

## Проектирование и конструирование космических систем

УДК 629.78

Абдираман А.С., Аваряскин Д.П.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОСПУТНИКА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОСМОНАВТА

В настоящее время возрастает частота выходов космонавтов из международной космической станции (МКС) в открытый космос для осуществления внекорабельной деятельности. В связи с этим возникает задача о повышении уровня безопасности во время проведения таких работ, в частности, обеспечение спасения космонавта в случае его отделения от МКС.

Для обеспечения дополнительной безопасности предлагается установить на борту МКС несколько наноспутников (НС) с миниатюрными блоками маневрирования, связанных с бортом с помощью троса. В случае отделения космонавта запускается наноспутник, который во время полёта корректирует движение для сближения с космонавтом.

На рис. 1. показаны возможные направления нештатного отделения космонавта.

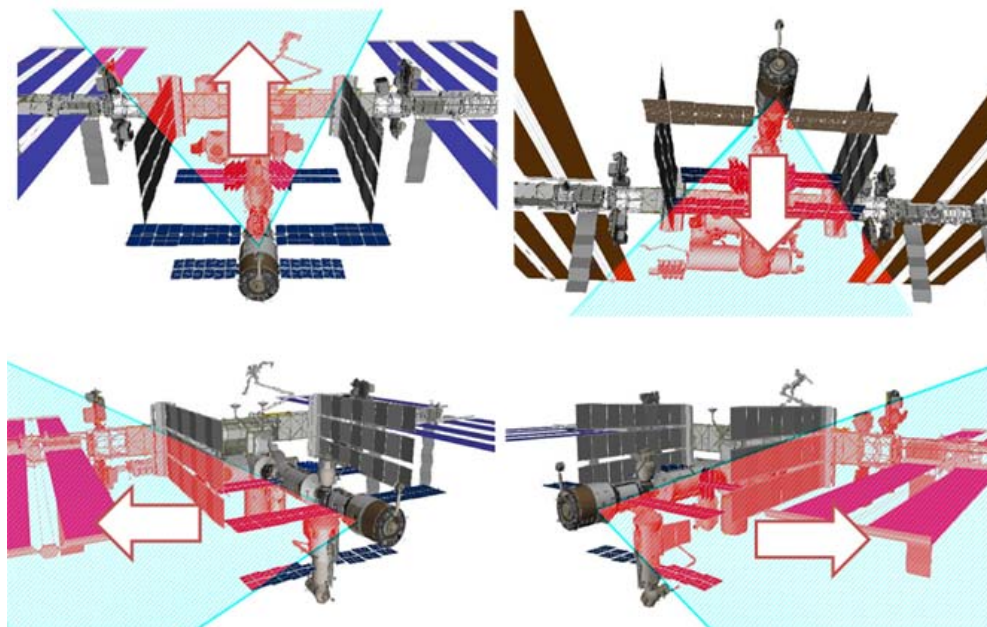


Рис. 1 Возможные направления нештатного отделения космонавта с  
русского сегмента МКС

Предлагается разместить два НС по нормали к плоскости местного горизонта с диапазоном отделения  $180^\circ$  в противоположные стороны.

## Математическая модель относительного движения

Аналитические выражения (1) без учета натяжения троса получены из линеаризованной модели относительного движения космонавта в орбитальной системе координат [1] с учётом возмущений по всем проекциям. В качестве возмущающего воздействия принято влияние атмосферы.

$$\begin{cases} x = x_0 - \left( \frac{2V_{y0}}{\omega} - \frac{4u_x}{\omega^2} \right) - \left( 6y_0\omega + \frac{2u_y}{\omega} + 3V_{x0} \right) \cdot t + \left( \frac{2V_{y0}}{\omega} - \frac{4u_x}{\omega^2} \right) \cdot \cos(\omega \cdot t) + \left( \frac{4V_{x0}}{\omega} + 6y_0 + \frac{2u_y}{\omega} \right) \cdot \sin(\omega \cdot t) - \frac{3}{2}u_x \cdot t^2, \\ y = 4y_0 + \left( \frac{2V_{x0}}{\omega} - \frac{u_x}{\omega^2} \right) - \left( 3y_0 + \frac{u_y}{\omega} + \frac{2V_{x0}}{\omega} \right) \cdot \cos(\omega \cdot t) + \left( \frac{V_{y0}}{\omega} - \frac{2u_x}{\omega^2} \right) \cdot \sin(\omega \cdot t) + \frac{2}{\omega}u_x \cdot t, \\ z = \left( z_0 - \frac{u_z}{\omega^2} \right) \cdot \cos(\omega \cdot t) + \left( \frac{V_{z0}}{\omega} - \frac{u_z}{\omega^3} \right) \cdot \sin(\omega \cdot t) + \frac{u_z}{\omega^2} + \frac{u_z}{\omega^2}t, \end{cases} \quad (1)$$

где,  $u_x, u_y, u_z$  – атмосферные возмущения;  $\omega$  – угловая скорость движения по орбите;  $x_0, y_0, z_0$  – начальные координаты космонавта;  $V_{x0}, V_{y0}, V_{z0}$  – проекции вектора скорости отделения космонавта.

С использованием (1), был проведён анализ расстояния космонавта до МКС, при его нештатном отделении в зависимости от времени полёта при фиксированных скоростях, которые представлены на рис. 2. Время полёта принято равным 15 минутам. Длина троса, соединяющего НС с МКС, принята равной 5 км. Поэтому при нештатном отделении космонавта его нужно спасти за короткое время, чтобы расстояние между МКС и космонавтом не превысило длину троса.

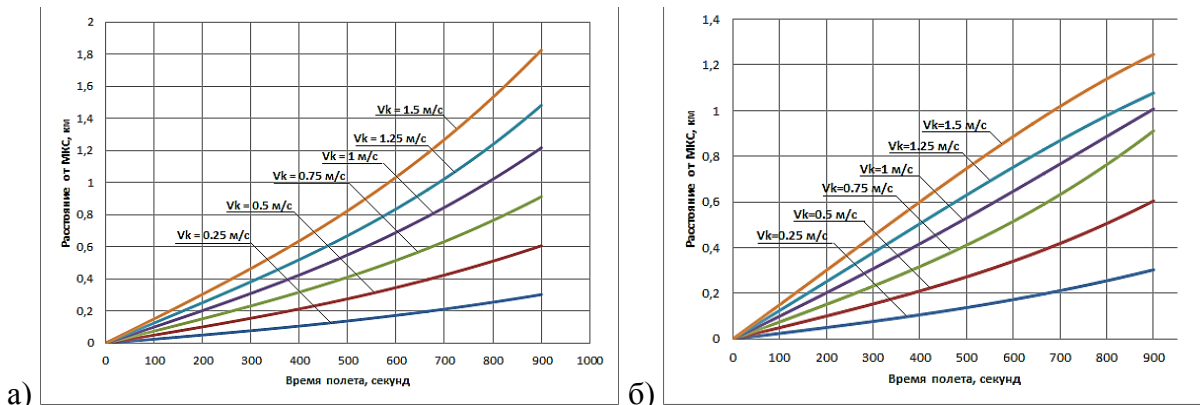


Рис. 2. Расстояние космонавта до МКС: а) минимальный баллистический коэффициент, б) максимальный баллистический коэффициент

Как видно из рис. 3, при времени полёта, равном половине витка, максимальное расстояние космонавта от МКС при максимальной скорости отделения космонавта и при минимальном баллистическом коэффициенте равно 11 км, а при максимальном баллистическом коэффициенте равно 10 км.

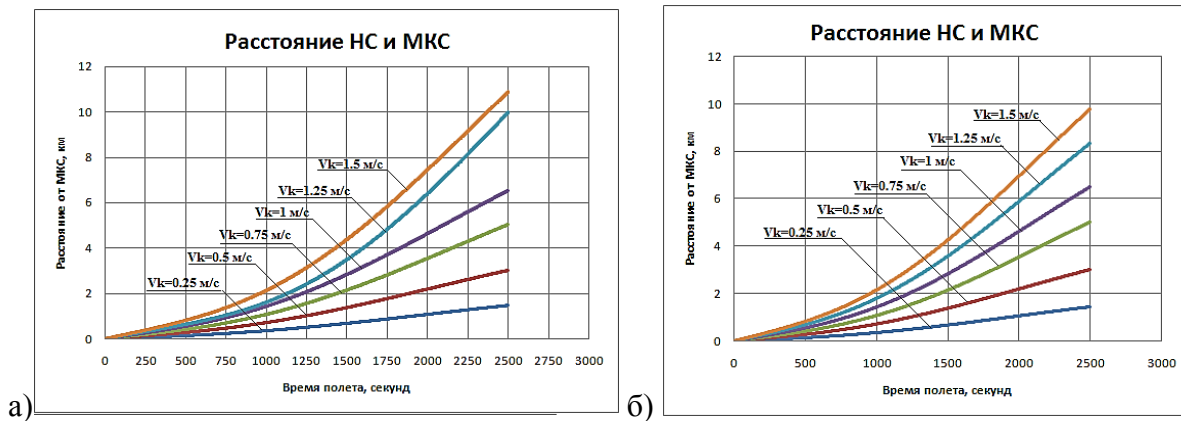


Рис. 3 Расстояние космонавта до МКС за половину витка: а) при минимальном баллистическом коэффициенте, б) при максимальном баллистическом коэффициенте

Было проведено сравнение аналитических выражений (1) с более точной моделью. В качестве такой модели была принята модель движения центра масс в абсолютной геоцентрической системе координат (АГСК).

Сравнение двух моделей движения проводилось в вероятностной постановке. В качестве случайной величины принято направление нештатного отделения космонавта, распределённое по равномерному закону. На рис. 4. представлены распределения ошибок (в км) линеаризованной модели по сравнению с более точной моделью.

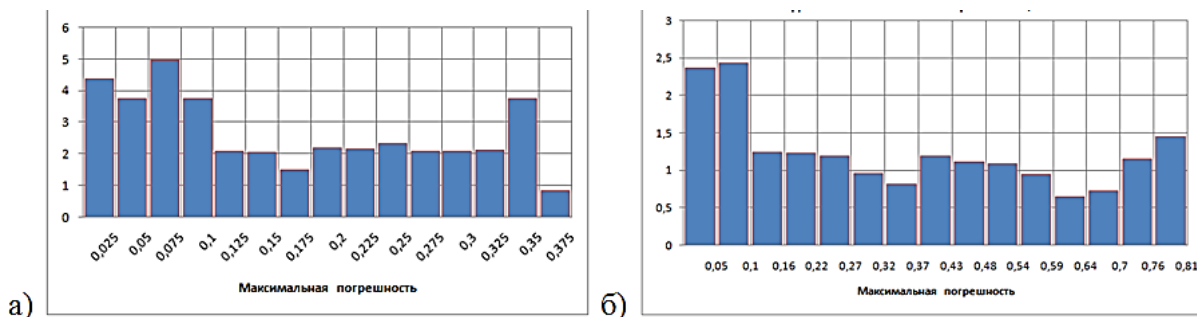


Рис. 4 Распределение ошибки линеаризованной модели относительного движения при отделении космонавта со скоростью: а) скорость 0,5 м/с, б) скорость 1 м/с

### Математическая модель относительного движения с учетом натяжения троса

Рассмотрим математическую модель относительного движения, которая учитывает натяжение троса, связывающего НС с МКС:

$$\begin{cases} \ddot{x} + 2\omega \cdot \dot{y} = u_x + T_x, \\ \ddot{y} - 2\omega \cdot \dot{x} - 3\omega^2 \cdot y = T_y, \end{cases} \quad (2)$$

где  $u_x, u_y, u_z$  – атмосферные возмущения;  $\omega$  – угловая скорость движения по орбите;  $T_x, T_y$  – силы натяжения троса.

Выражение для натяжения троса принято из [2]. Анализ расстояния НС от МКС с учётом натяжения троса показан на рис. 5.

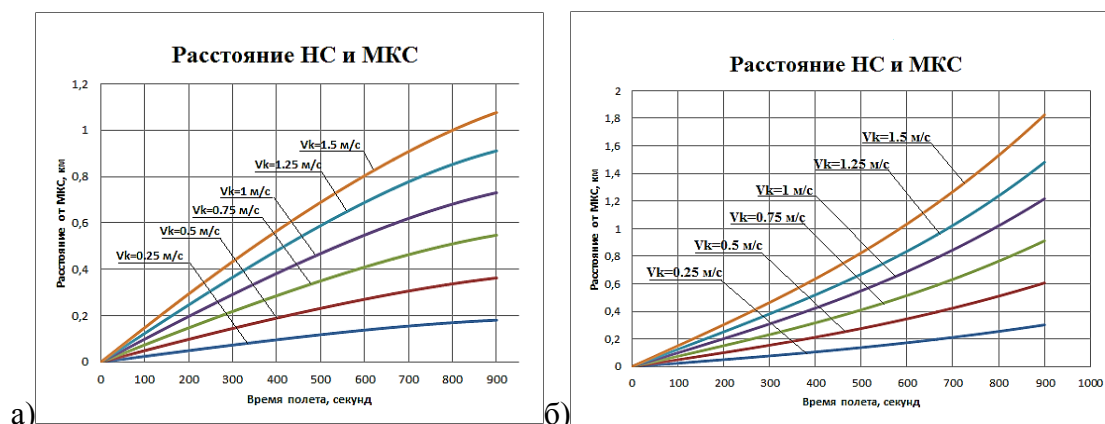


Рис. 5. Расстояние НС от МКС: а) с учётом натяжения, б) без натяжения

Как видно из рис. 5, при одинаковых начальных условиях расстояние с учётом натяжения при максимальной скорости отделения равно 1,1 км, а без учёта натяжения равно 1,8 км.

Пусть параметры отделения НС для перехвата космонавта определяются выражением (1), не учитывающим натяжение троса.

Полученные гистограммы распределения погрешности расстояния (в км) между НС и космонавтом показаны на рис. 6.

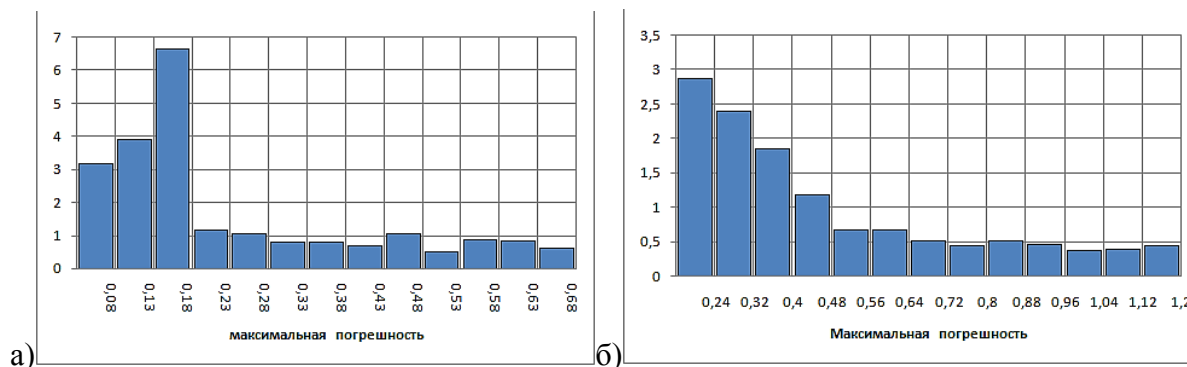


Рис. 6 Распределение погрешности расстояния между НС и космонавтом со скоростями:

а) скорость 1 м/с, б) скорость 1,5 м/с

Необходимо ввести поправочный коэффициент для уточнения параметров отделения НС с целью перехвата космонавта без ошибок в рамках принятой модели движения.

### Библиографический список

1. Аппазов, Р.Ф. Методы проектирования траекторий носителей и спутников Земли [Текст] / О.Г. Сытин. – М: Наука, 1987. – 439 с.
2. Белецкий, В.В. Динамика космических тросовых систем [Текст] / Е.М. Левин. – М.: Наука, 1990. – 336 с.