

Тросовая система Фобос - орбитальная космическая станция

Л.С. Едигеева¹, А.А. Авраменко¹

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

Аннотация. В данной работе рассмотрена возможность реализации тросовой системы, образованной Фобосом и орбитальной космической станцией, находящейся в одном и том же положении относительно Фобоса и Марса. Подобная система может использоваться в качестве долговременной космической станции и космического лифта для Фобоса. Рассмотрено равновесное положение космического лифта, трос которого имеет переменное сечение. Определен закон изменения сечения троса.

1. Введение

Космический лифт – протяженная и гибкая космическая конструкция, связанная с одним из естественных космических тел. [1]

Основные задачи Космического лифта:

- Реализация стационарной базы на околомарсианской орбите, которая может использоваться как перегрузочная для миссии на Фобос, так и для проведения различных исследований.
- Выполнение роли центра связи и управления всеми операциями вблизи Марса и Фобоса.
- Использование для перелетов к внешним планетам.
- Сокращение расходов по доставке и размещению оборудования и устройств на Фобос и его окрестности. [2, 3, 4]

2. Рассматриваемая модель

Рассмотрим модифицированную модель Ф.А.Цандера, которая включает в себя трос, протянутый с поверхности Фобоса в сторону Марса за коллинеарную точку либрации L1, связывающий Фобос с КС и удерживаемый от падения на поверхность Фобоса притяжением Марса. Длина троса должна незначительно превышать расстояние от поверхности Фобоса до точки либрации L1, в противном случае космическая станция попросту упадет на Фобос. [5]

В случае относительного равновесия на каждый участок троса будут действовать гравитационные силы Фобоса и Марса, силы натяжения соседних участков и переносная сила инерции

$$F_{\text{и}} = \omega_{\text{л}}^2 \cdot (p - R_1) \cdot m \quad (1)$$

В модели Ф.А.Цандера рассматривается космический лифт, связанный с Луной и направленный в сторону Земли. Реализация подобной системы требует наличия сверхпрочных материалов. Рассмотрим силы, действующие в такой системе:

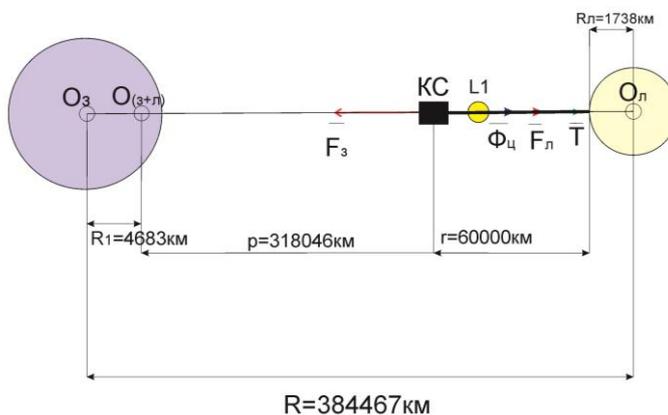


Рисунок 1. Силы, действующие на КС.

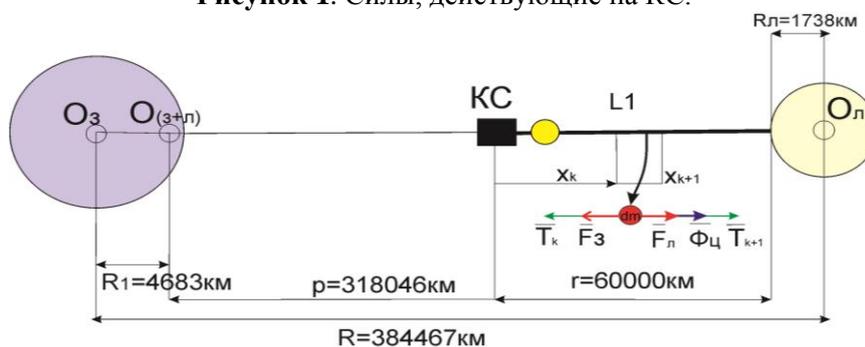


Рисунок 2. Силы, действующие на участок троса.

Для дальнейших результатов будет использоваться расстояние равное 60 тыс.км. Расчеты будут проводиться с использованием материала Kevlar-49.

Посмотрим, как будет изменяться натяжение троса в зависимости от его сечения. Для троса с поперечным сечением, равным 0.1 м^2 (диаметр троса 0,357 м), масса участка троса равна $432 \cdot 10^6 \text{ кг}$. Расчеты показывают, что в этом случае на третьем участке троса появляются отрицательные значения, это означает, что силы, действующие на космическую станцию не смогут натянуть трос, конструкция с таким сечением троса не сможет удержаться в равновесии и рухнет на Луну.

Таблица 1. Силы, действующие на 2 и 3 участок троса.

Позиция	Шаг	Длина троса	Центробежная сила инерции, Н	Сила притяжения Земли, Н	Сила притяжения Луны, Н	Сила натяжения справа, Н	Сила натяжения слева, Н	Предельное напряжение $H / м^2$
$3,26 \cdot 10^8$	2	$5,7 \cdot 10^7$	$9,85 \cdot 10^5$	$1,62 \cdot 10^6$	$6,14 \cdot 10^5$	$2,41 \cdot 10^4$	$1,27 \cdot 10^2$	$2,41 \cdot 10^5$
$3,29 \cdot 10^8$	3	$5,4 \cdot 10^7$	$9,94 \cdot 10^5$	$1,59 \cdot 10^6$	$6,82 \cdot 10^5$	$-5,85 \cdot 10^4$	$2,41 \cdot 10^4$	$-5,85 \cdot 10^5$

Будем уменьшать площадь сечения, пока не получим положительные значения на каждом шаге. При сечении $S=1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$, массе участка троса равной 43,2 кг и диаметре троса $1,13 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ мы получаем положительные значения.

Но, при таком сечении максимальное напряжение превышает предел прочности, из чего следует, что трос не выдержит данную конструкцию. Он будет разорван силой, действующей со стороны космической станции. Максимальное напряжение придется на четвертом

участке троса, на этом участке напряжение достигает $1,269 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$, что в 3,5 раза превышает предел прочности. Следовательно, нужно увеличить площадь поперечного сечения. Увеличим площадь сечения в 6,5 раз, получим площадь сечения $6,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$. Максимальное напряжение достигает $1,9586 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$, что в 1,8 раз меньше предела прочности.

Таблица 2. Силы, действующие на 20 участок троса.

Позиция	Шаг	Длина троса	Центробежная сила инерции, Н	Сила притяжения Земли, Н	Сила притяжения Луны, Н	Сила натяжения справа, Н	Сила натяжения слева, Н	Предельное напряжение Н/м^2
$3,79 \cdot 10^6$	20	$3 \cdot 10^6$	$1,151 \cdot 10^{-1}$	$1,194 \cdot 10^{-7}$	9,444	$1,081 \cdot 10^7$	$1,175 \cdot 10^7$	$1,081 \cdot 10^9$

Результат расчетов распределения напряжения по длине троса с переменным поперечным сечением приведены на рисунке 3.



Рисунок 3. Распределение напряжений по длине троса системы Земля-Луна.

Для подобной модели, которая включает в себя трос, протянутый с поверхности Фобоса в сторону Марса за коллинеарную точку либрации L1 для системы Фобос-Марс, требования к материалам будут не столь строгими.

Расстояние от центра Марса до точки либрации L1 составляет 9383.4 км, а расстояние от центра Фобоса до этой точки $r_2 = 16.6 \text{ км}$. Длина нашего троса будет равна:

$$r = r_2 - R_\phi = 5.5 \text{ км}$$

расстояние от поверхности Фобоса до точки либрации L1, где R_ϕ - радиус Фобоса.

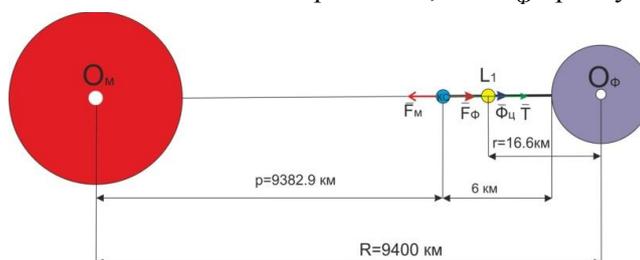


Рисунок 4. Силы, действующие на КС.

Если выбрать закон изменения поперечного сечения, использованный в расчетах системы Земля - Луна, получим результаты, приведенные на рисунке 5.

3. Заключение

Видим, что требования к прочности троса в данном случае значительно ниже, чем требования для лунного лифта. Поэтому такая тросовая система может быть реализована с существующими материалами.



Рисунок 5. Распределение напряжений по длине троса системы Фобос-Марс.

4. Литература

- [1] Коровин, В.В. Статика Лунного космического лифта постоянного сечения // Международный научный журнал «Инновационная наука». – 2017. – № 03.
- [2] Первушин, А.И. Мифология космического лифта (Эссе из цикла “Космическая экспансия: от фантастики к реальности”) // Полдень. XXI век. – 2009. – № 53. – С. 161-170.
- [3] Арцутанов, Ю.Н. В космос на электровозе // Комсомольская правда, 1960. – 31 июля.
- [4] Поляков, Г.Г. Обобщенные задачи о космическом лифте // Известия АН СССР. Механика твердого тела. – 1972. – № 6. – С. 54-59.
- [5] Белецкий, В. Тысяча и один вариант "космического лифта" / В. Белецкий, Е. Левин // Журнал "Техника - молодежи", 1990. – № 10.

Tethered system Phobos - orbital space station

L.S. Edigeva¹, A.A. Avramenko¹

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

Abstract. The article considers position of the space Elevator, the cable has a variable section. Such an Elevator can be used as a permanent space station that remains stationary relative to the Earth and the Moon also the Phobos and the Mars.