

Секция 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, ХИМИИ, МАТЕМАТИКИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИ

УДК 51-74

ВРАЩЕНИЕ ТРОСОВЫХ СИСТЕМ КАК НОВЫЙ ВИД ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А.А. Екимовская
МАОУ «СОШ №40», г. Череповец
any_ekimovskaya03@mail.ru
Науч. рук. В.В. Лебедев

Традиционные конструкции космических аппаратов практически полностью исчерпали предел своих технических возможностей. Для дальнейшего освоения космического пространства нужны принципиально новые технические решения. Вращающиеся тросовые космические системы являются новым предложением в развитии космической техники. Вращение системы – это запас энергии, которую можно применить для маневрирования. В этой статье приводится расчёт нагрузки вращающейся тросовой системы.

Ключевые слова: вращение, энергия вращения, тросовая система, космический аппарат, маневрирование.

В настоящее время космическим технологиям и технологиям деятельности в космической среде уделяется повышенное внимание [1]. Созданные почти полвека назад космические системы и аппараты доказали свою надёжность, но постепенно подходят к пределу своих возможностей. В Ракетно-космической корпорации «Энергия» им. С.П. Королёва уже много лет изучают новые принципы построения космических систем, в частности тросовых. В работе В.Г.Осипова и Н.Л. Шошунова содержится исторический анализ развития тросовых космических систем и перспективы их применения [2]. Об актуальности тросовых космических систем для экономики свидетельствуют многочисленные патенты на способы и устройства по этой перспективной тематике. В этой исследовательской работе на обсуждение выносится вопрос о принципиально новых тросовых космических системах – вращающихся [3]. Вращательное движение – это источник для энергии, необходимой для орбитального маневрирования или хотя бы возвращения аппарата на Землю. Энергия высвобождается после разрыва тросовых связей между частями конструкции. В земных условиях тросовая система, как правило, считается не рациональной с позиции строительных конструкций, так как по сути представляет собой откос с повышенной силой реакции, то есть силой натяжения троса, даже

при небольшой активной нагрузке. Новизной и отличительной особенностью этой работы является изучение вращающихся тросовых систем с целью их дальнейшего применения в практике освоения и использования космического пространства. Даже первые оценочные расчёты показали, что в космосе вращающиеся тросовые системы по нагрузке ведут себя принципиально иначе по сравнению с привычными для нас земными условиями.

Простейшим примером вращающейся тросовой космической системы являются два груза, соединённые абсолютно гибким невесомым тросом. Сравнение следующей системы, из трёх одинаковых грузов, с предыдущим случаем показывает, что величина силы натяжения тросов при уменьшении угла их «провисания» уменьшается, а не увеличивается, как это наблюдалось для строительных откосов или растяжек. Такое сравнение определило необходимость дальнейшего изучения этого интересного и важного для практики факта. Была изучена система из четырёх грузов, а потом результат обобщён на произвольную симметричную систему из n грузов. Общая масса конструкции предполагалась во всех схемах одинаковой, равной m . Была получена формула для расчёта величины силы натяжения каждого из n

соединительных тросов $T_n = \frac{m \omega^2 R}{2n \cos \frac{(n-2)90^\circ}{n}}$. С увеличением количества

n грузов, то есть числа углов и сторон правильного n -угольника, величина каждой из одинаковых сил натяжения одинаковых тросов уменьшается. После такого индукционного метода исследования закономерности уменьшения силы натяжения тросов появилась задача обобщения полученных результатов на тяжёлую вращающуюся кольцевую нить.

Конечный результат имеет следующий вид: $T_\infty = T = \frac{m \omega^2 R}{2\pi}$. Это

минимальная сила натяжения во всех системах. Первая часть исследовательской работы была посвящена анализу нагрузки различных вариантов вращающихся симметрических тросовых систем с различным количеством грузов, от двух до бесконечности, то есть до распределённой массы системы. В таблице обобщены полученные результаты для сил натяжения соединительных тросов. Нагрузка на соединительные тросы уменьшается при увеличении количества грузов во вращающейся системе. Самая большая сила натяжения будет в системе из двух вращающихся грузов, поэтому другие тросовые системы сравнивались с указанной выше. Например, если силу натяжения троса во вращающейся системе с двумя

грузами принять за 1, то в системе с тремя грузами сила натяжения тросов уменьшится и составит приблизительно 38,5 % от первоначальной конфигурации. Но затем с увеличением количества грузов уменьшение нагрузки происходит не очень быстро. При шести вращающихся грузах сила натяжения каждого из шести тросов уменьшится ровно в три раза по сравнению с системой из двух грузов. Самая маленькая сила натяжения троса, приблизительно 31,8 % от исходного варианта, будут при бесконечном количестве грузов, то есть при равномерно распределённой массе во вращающемся тяжёлом тросе.

Уменьшение нагрузки при распределении вращающихся масс

Число грузов n	Угол между смежными сторонами многоугольника $\varphi = \frac{(n-2)180^\circ}{n}$	Угол откоса $\alpha = \frac{180^\circ}{n}$	Относительная нагрузка $0,5m\omega^2R$, в долях
2	0°	90°	1
3	60°	60°	$\frac{1}{1,5\sqrt{3}} \approx 0,385$
4	90°	45°	$\frac{1}{2\sqrt{2}} \approx 0,354$
5	108°	36°	$\approx 0,340$
6	120°	30°	$\frac{1}{3} \approx 0,333$
∞	180°	0°	$\frac{1}{\pi} \approx 0,318$

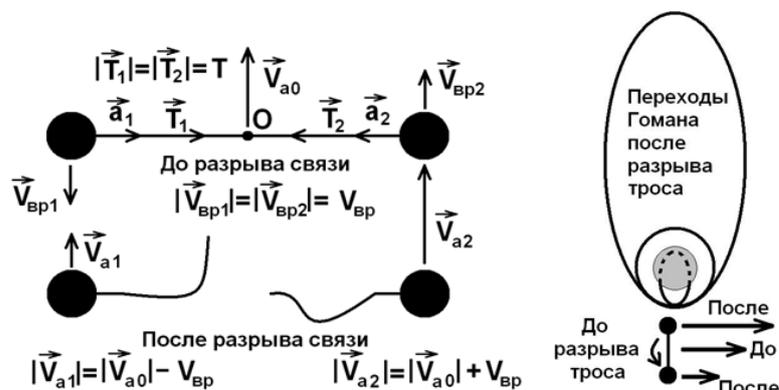
Первым важным результатом этой части исследовательской работы стало доказательство факта уменьшения силы натяжения тросов при уменьшении угла откоса.

Второй важный результат этой части исследования заключается в количественной оценке сил натяжения тросов в симметрической вращающейся конфигурации.

Третий важный результат заключается в содержательной формулировке задачи для исследования несимметричных геометрических тросовых систем с различными грузами.

Практическое исследование треугольной системы из трёх вращающихся грузов было проведено с целью обоснования устойчивости конфигурации. Треугольник – устойчивая фигура, но для четырёх и более грузов устойчивость системы была проверена экспериментально.

Дополнительная энергия, которую можно извлечь из вращения системы, высвобождается после разрыва тросовых связей, что иллюстрируется схемой, представленной на рисунке ниже.



Использование энергии вращения после разрыва троса

Суть дополнительного энергетического обеспечения космического аппарата для орбитального маневрирования заключается в следующем. Предположим, что аппарат, то есть центр масс двух вращающихся грузов с тросом, движется по круговой орбите с первой космической скоростью. Разрыв троса происходит в момент времени, когда скорость одного груза направлена по движению, а другого – против движения центра масс. Первый груз получит импульс для увеличения апогея и перейдет на эллиптическую более высокую орбиту. Второй груз, напротив, получит тормозной импульс, его орбита уменьшит перигей. Например для возвращения на Землю с низкой орбиты нужен тормозной импульс около 150 м/с, который можно получить от системы радиусом 150 м при угловой скорости вращения 1 рад/с. Это вполне реально. Это новая возможность для энергетического обеспечения малых космических аппаратов, развивающихся в настоящее время.

Источники

1. Меньшиков В.А., Перминов А.Н., Урлич Ю.М. Глобальные проблемы человечества и космос. М.: «Изд.МАКД», 2010. 570 с.
2. Осипов В.Г., Шошунов Н.Л. Космические тросовые системы: история и перспективы // Земля и Вселенная. Космонавтика. 1998. № 4.
3. Екимовская А.А. Вращающиеся тросовые космические системы // Гении Подмосквья: сб. ст. по материалам фестиваля науки. М., 2020. С. 55–79.