

Проектирование космической вращающейся тросовой системы

Научный руководитель – Лебедев Владимир Валентинович

Рожнова Мария Андреевна

Абитуриент

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия

E-mail: masha.rozhnova.2017@mail.ru

Идея работы появилась после решения школьной задачи по статике. Это задача о расчёте силы натяжения горизонтально натянутой верёвки после подвешивания на её середине груза с некоторым последующим провисанием. Эта задача приводится во многих учебниках по физике, потому что с неё начинается изучение условия равновесия материальной точки или узловой точки статической системы. Эту же задачу предлагают решить в курсе теоретической механики, потому что она сводится к условию равновесия плоской системы сходящихся сил. Результат решения задачи сразу бросается в глаза. Например, при подвешивании груза 150 Н сила натяжения верёвки равна 7500 Н, то есть в 50 раз больше веса груза! Такая же ситуация наблюдается при решении задач с откосами. В строительной технике известно, что усилия в системах с откосами могут во много раз превышать величины внешних активных сил. Решение нескольких таких задач привело к идее исследовать нагрузки на подобные системы в космическом пространстве в условиях невесомости, то есть начать изучение тросовых систем.

Тросовые системы исследуют специалисты предприятий космической отрасли [1]. Интерес к тросовым системам возрастает в связи с новыми перспективами освоения космического пространства [2]. Тросовые системы изучают в проблеме космического мусора [3]. Особенностью этой работы является изучение вращающихся тросовых систем, то есть нескольких вращающихся связанных грузов.

Простейшей вращающейся тросовой конструкцией является система из двух одинаковых грузов. Сила натяжения троса обусловлена неинерциальностью системы, то есть её вращением вокруг центра масс. Сила натяжения зависит от массы грузов, радиуса вращения и угловой скорости вращения. Полученная формула для расчёта силы натяжения в этой тросовой системе была взята за основу для сравнительного анализа с более сложными вращающимися конструкциями. Но даже эта простейшая конструкция показала, что условия в космосе принципиально отличаются от земных условий. Земным аналогом двух вращающихся на тросе грузов является тело, подвешенное на вертикальной верёвке.

Следующим обобщением задачи стал расчёт вращающейся тросовой системы с тремя одинаковыми грузами, расположенными в вершинах правильного треугольника. Затем были изучены четыре связанных тросами груза, расположенные в вершинах квадрата. Во всех задачах общая масса системы была одна и та же, радиус вращения грузов не изменялся, угловая скорость вращения предполагалась постоянной. Главный вывод заключается в доказательстве уменьшения силы натяжения троса при увеличении числа грузов. Это означает, что в условиях космоса и невесомости вращающаяся тросовая система по нагрузке ведёт себя противоположно откосам и провисшим верёвкам в земных условиях. В космосе при уменьшении угла провисания, то есть при увеличении числа грузов, сила натяжения соединяющих тросов уменьшается. Это вызвано распределением нагрузки по траектории вращения, чего нет в земных условиях.

Следующим обобщением задачи стало изучение нагрузки вращающейся тросовой системы из произвольного числа n -грузов.

Наконец, был выполнен предельный переход к равномерно распределённой вдоль кольца массе. Это известная школьная олимпиадная задача о силе натяжения вращающейся тяжёлой цепочки. Но здесь эта задача была решена двумя способами: математически с помощью предельного перехода множества точечных масс и физически методами динамики и статики. Совпадение полученных результатов доказало правильность решения задачи. Наконец, завершающим обобщением в этом разделе исследовательской работы стало решение задачи о силе натяжения каждого из трёх соединительных тросов во вращающейся системе из трёх произвольных грузов, расположенных в вершинах произвольного треугольника. Эта задача требует найти центр масс системы и применить методы векторной алгебры для выяснения условий равновесия каждого из трёх вращающихся грузов. Методика решения задачи была сразу же перенесена в программу табличного редактора Excel. Исходными данными служат массы и координаты грузов, и угловая скорость вращения. Результат решения задачи отображается сразу же в виде трёх сил натяжения тросов. Перспектива исследования заключается в изучении вращения произвольной тросовой системы с грузами, расположенными в углах обобщённого многоугольника. Уже сейчас становится ясно, что исследовать надо будет не только силы натяжения множества соединительных тросов, но и устойчивость тросовой системы в целом.

Источники и литература

- 1) Осипов В.Г., Шошунов Н.Л. Ракетно-космическая корпорация "Энергия" им. С.П. Королёва. Космические тросовые системы: история и перспективы / Земля и Вселенная, 1998, №4
- 2) Меньшиков В.А., Перминов А.Н., Урличич Ю.М. Глобальные проблемы человечества и космос. - М.: ОАО "Издательство "МАКД", 2010. - 570 с.
- 3) Максимов А.А., Меньшиков В.А., Пчелинцев Л.А., Лебедев В.В. Космический мусор. – Том 1. – М.: Патриот, 1996.