

Глава 1

Динамика выхода ОТС в космическое пространство в экваториальной плоскости Земли

Рассмотрим задачу о движении ротора ОТС в атмосфере и открытом космосе в случае экваториального расположения стартовой эстакады. Определим основные закономерности процесса выхода на орбиту при самых общих предположениях относительно свойств ротора и условий его движения [1].

В качестве модели ротора принимаем тонкое упругое кольцо с однородными механическими характеристиками, с конечным числом разделений на фрагменты и последующих этапов упругого или фрикционного расширения. Движение ротора через атмосферу происходит внутри вакуумируемой оболочки, что необходимо для изоляции быстродвижущегося ротора от воздушной среды. Оболочка участвует только в радиальном движении; воздушная среда моделируется стандартной атмосферой.

Анализ решений дифференциальных уравнений движения позволяет исследовать поэтапное движение ротора – его положение, определяемое полярными координатами, соответствующие скорости и ускорения, время движения, действующие силы, степень влияния на динамические характеристики различных параметров ротора и оболочки и т. д. Как будет показано, при произвольно выбранных параметрах радиальное движение ротора является колебательным относительно положения орбиты. Для управления движением ротора с целью гашения колебаний и вывода на заданную орбиту можно использовать фрикционные силы между фрагментами ротора в их телескопических соединениях. Определено соотношение между исходными параметрами ротора и оболочки в начале радиального движения, установлена зависимость между стартовой скоростью ротора и положением орбиты.

Исследована динамика колебательного движения ротора в случае свободного расширения фрагментов; определены критические режимы движения, когда ротор расширяется неограниченно, удаляясь на бесконечность. Такой режим можно использовать для организации транспорта полезных грузов в пределах космической индустриальной зоны Земли или до объектов Солнечной системы и обратно.

1.1. Постановка задачи

Исследуем движение ротора ОТС при выводе на орбиту в плоскости экватора. На участке движения в плотных слоях атмосферы ротор движется внутри вакуумируемой оболочки. Начальное состояние системы «ротор – оболочка» определяется вращающимся по экватору со скоростью V ротором и неподвижной оболочкой. После освобождения от магнитных подвесов начинается радиальное движение ротора, сообщаемое оболочке. За счет электромагнитных взаимодействий с ротором оболочка получает вращательное движение, дополнительное к вращению вместе с Землей. К моменту отделения оболочки ее общая угловая скорость – ввиду слабости взаимодействий и малости времени движения – имеет малую величину порядка угловой скорости Земли, поэтому вращательным движением оболочки можно пренебречь. Вращение оболочки, как будет показано в дальнейшем, не меняет общей картины движения, внося лишь малые количественные изменения в динамические характеристики системы.

Движение системы «ротор – оболочка», а затем движение ротора после сброса оболочки определяется по отношению к движущейся системе отсчета с началом в центре Земли.

Ось Z направлена вдоль оси вращения Земли и ротора, оси X и Y – в плоскости экватора. Влияние Солнца, Луны и других тел Солнечной системы не учитывается по причине слабости этого влияния.

Динамическая модель ротора принимается в виде тонкого кольца с однородными механическими свойствами и начальным радиусом r_{p0} , равным экваториальному радиусу Земли. На начальном этапе радиального движения учитывается упругое растяжение кольца; после достижения определенного значения относительной деформации ротор разделяется на фрагменты с телескопическими соединениями. Последующее относительное перемещение фрагментов – этап фрикционного расширения – исследуется с учетом сухого трения.

После выхода соединительных элементов на упоры относительное перемещение фрагментов прекращается, и начинается новый этап упругого растяжения, затем снова происходит разделение на фрагменты, этап фрикционного расширения и т. д. Может быть несколько чередующихся этапов упругого и фрикционного расширения ротора. На каждом этапе рассматриваются усредненные по длине ротора значения массы единицы длины ротора, коэффициента упругости, силы трения и других характеристик.

При колебательном движении ротора возможно относительное перемещение фрагментов, если силы трения в телескопических соединениях отсутствуют. Полагаем, что такие перемещения фрагментов происходят также при движении ротора по орбите.