

УДК 629.78

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ПАРУСА

Чекашов А. С., Алипова Б. Н., Старинова О. Л.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

Солнечный парус использует давление солнечного света для создания тяги, движущей космический аппарат (КА). Под действием солнечного давления форма поверхности солнечного паруса изменяется. Поверхность паруса начинает колебаться, что влияет на вырабатываемую им тягу. Так как сила солнечного давления сильно возрастает с уменьшением расстояния до Солнца, то это приводит и к увеличению амплитуды колебаний паруса. Это может привести к значительному изменению тяги и, возможно, повреждению конструкции паруса.

Для решения задачи о колебаниях поверхности солнечного паруса можно воспользоваться двумерным волновым уравнением [1]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right).$$

В качестве модели берется мембрана прямоугольной формы. Сделав определенные допущения, мы можем воспользоваться волновым уравнением для определения колебаний паруса. Искать решение данного уравнения будем в виде двух функций:

$$u(x, y, t) = v(x, y, t) + w(x, y, t).$$

Первая функция описывает свободные колебания солнечного паруса, вторая функция описывает вынужденные колебания, которые требуется определить в данной задаче. Решение найдем путем разложения данной функции в двойной ряд Фурье. В результате получаем дифференциальное уравнение, описывающее зависимость колебаний от времени. Далее, находим общее и частное решение данного уравнения и, подставив его в исходное, получим уравнение колебаний поверхности солнечного паруса.

Так как солнечные паруса не создаются в виде прямоугольников, полученное решение необходимо видоизменить. Наиболее распространенной является прямоугольная конструкция, в которой лепестки солнечного паруса имеют треугольную форму. Придать подобную форму исследуемой модели можно, добавив уравнение узловой линии к полученному решению. Добавив уравнение узловой линии, полученная модель примет треугольную форму. Это делает полученное решение правомерным и позволит выбрать для исследования в качестве прототипа один из существующих КА с солнечным парусом.

Тягу, создаваемую солнечным парусом, можно определить по следующей формуле:

$$dF = p \cos^2(\vartheta) ds.$$

Аргумент косинуса представляет собой угол между нормалью к поверхности паруса и линией действия внешних сил. Так как мы считаем, что сила солнечного давления действует перпендикулярно плоскости колебаний солнечного паруса, этот угол мы можем определить, найдя скалярное произведение векторов нормали и действия силы. Определив этот угол, подставив его в уравнения для определения силы тяги и проинтегрировав по поверхности солнечного паруса, мы определим создаваемую парусом силу тяги.

В результате работы было произведено моделирование колебаний поверхности солнечного паруса под действием силы солнечного давления и определена сила тяги, вырабатываемая им в деформированном состоянии.

Библиографический список

1. Араманович, И. Г., Левин, В. И. Уравнения математической физики: теория и практика учеб. пособие [Текст]/ И. Г. Араманович, В. И. Левин// М.: Наука. - 1969.- 288 с.