

Математическая модель давления фотонов на неидеально отражающий солнечный парус с учётом тонкоплёночных элементов управления с изменяемыми отражательными свойствами

Р.М. Хабибуллин¹, О.Л. Старинова¹

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

Аннотация

Предлагается подробная математическая модель давления фотонов на неидеально отражающий солнечный парус, учитывающая зеркальное отражение фотонов, диффузное рассеивание, поглощение и пропускание фотонов поверхностью солнечного паруса. Адекватность модели подтверждается сравнением с экспериментальными данными, полученными для солнечного паруса, изготовленного из материала Каптон. Описан вектор силы тяги для неидеально отражающего солнечного паруса с учётом функционирования тонкоплёночных элементов управления. Тонкоплёночные элементы управления – устройства, расположенные по периметру солнечного паруса. Они предназначены для управления ориентацией космического аппарата с солнечным парусом в пространстве.

Ключевые слова

Неидеально отражающий солнечный парус, математическая модель давления фотонов, тонкоплёночные элементы управления, зеркальное отражение, диффузное рассеивание, поглощение фотонов, пропускание фотонов

1. Введение

Работа посвящена перспективной технологии движения космических аппаратов (КА) в космическом пространстве – движению с помощью солнечного паруса (СП). СП – устройство, позволяющее приводить в движение КА и управлять его ориентацией с помощью давления фотонов [1]. Значительное преимущество использования СП состоит в том, что он способен заменить двигательную установку на борту КА. Отсутствие рабочего тела позволяет существенно уменьшить массу всего КА и продлить срок его активного существования. За прошлые десять лет большой опыт использования СП был получен космическими агентствами США, Европы и Японии [2].

2. Математическая модель давления фотонов

Рассматривается КА с неидеально отражающим СП. Неидеальное отражение фотонов учитывает не только падающие и зеркально отражённые фотоны, но и диффузное рассеивание, поглощение и пропускание фотонов поверхностью СП. Основная сложность модели состоит в том, что практически невозможно с высокой точностью определить направления векторов силы тяги в результате диффузного рассеивания и процесса излучения от нагрева поверхности. Явления подобного характера происходят неравномерно из-за ряда причин, таких как деградация СП, неровность СП, изменение формы поверхности СП в процессе перелёта и т.д.

Таким образом, предложена математическая модель давления фотонов с учётом следующих допущений:

- оптические характеристики СП, такие как коэффициент отражения, коэффициент поглощения, коэффициент пропускания постоянны на всей длительности перелёта и не равны нулю;

- СП имеет плоскую поверхность;

- рассеивание диффузно отражённых фотонов происходит равномерно во всех направлениях в полуплоскости, соответственно, направление результирующего вектора силы тяги от рассеянных фотонов совпадает с направлением нормали к СП;

- излучение на поверхности СП от нагрева поглощённых фотонов происходит равномерно по всем направлениям в полуплоскости, т.е. результирующий вектор силы тяги от поглощённых фотонов совпадает с направлением падения фотонов.

Таким образом, была сформирована математическая модель давления фотонов, адекватность которой была подтверждена сравнением с экспериментальными данными [3]. Сравнение результатов, полученных с помощью разработанной модели, с экспериментальными данными представлено на Рисунке 1.

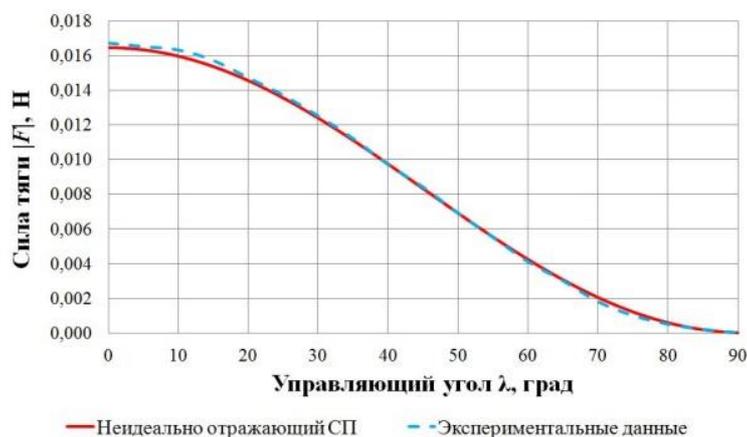


Рисунок 1: Сравнение полученных результатов с экспериментальными данными

В результате сравнения выявлено, что максимальная относительная погрешность составляет 2,3%. Подобная модель была адаптирована для СП, оснащённого тонкоплёночными элементами управления (ТЭУ) с изменяемыми отражательными свойствами. ТЭУ предназначены для управления ориентацией КА с СП в пространстве. Таким образом, новая математическая модель давления фотонов учитывает не только неидеальное отражение поверхности СП, но и габариты органов управления СП.

3. Заключение

Разработана математическая модель давления фотонов на неидеально отражающий СП с учётом принятых допущений. С помощью данной модели получены результаты, которые сравнивались с данными, полученными экспериментально. Максимальная относительная погрешность составила 2,3%. Данная математическая модель давления фотонов адаптирована для неидеально отражающего СП, оснащённого тонкоплёночными элементами управления с изменяемыми отражательными характеристиками.

4. Литература

- [1] Поляхова, Е.Н. Космический полёт с солнечным парусом / Е.Н. Поляхова. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 320 с.
- [2] Macdonald, M. Advances in Solar Sailing / M. Macdonald. – Materials of the Third International Symposium on Solar Sailing Glasgow, 2013. – 977 p.
- [3] McInnes, C.R. Solar sailing: technology, dynamics and mission applications / C.R. McInnes. – Springer Science & Business Media, 2013. – 296 p.