

Список литературы

1. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. - М.:Наука, 1969.
2. Гродзовский Г.Л., Иванов Ю.Н., Токарев В.В. Механика космического полета. Проблемы оптимизации. - М.:Наука, 1975.

УДК 629.785

В.В.Салмин, С.А.Ишков, О.Л.Милокумова, О.Ю.Старинов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕО И ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКИХ УЧАСТКОВ МЕЖПЛАНЕТНОГО ПЕРЕЛЕТА КА С СОЛНЕЧНЫМ ПАРУСОМ

В настоящей работе рассмотрены задачи моделирования траекторий достижения планет Солнечной системы с помощью космического аппарата, использующего в качестве движителя солнечный парус /1/.

Задача моделирования в соответствии с теорией сфер действия была условно разделена на расчет многовитковой траектории набора параболической скорости в сфере действия Земли (геоцентрический участок перелета) и межорбитальный гелиоцентрический переход.

Для описания траектории околоземного движения введена комбинированная система дифференциальных уравнений движения, включающая в себя четыре уравнения плоского движения аппарата в полярной системе координат, два уравнения, характеризующих положение плоскости орбиты относительно базовой, и уравнение, позволяющее определить относительное положение Солнце - Земля - аппарат.

Известно, что уравнения, описывающие пространственное положение траектории, при наклонении близком к нулю не дают достоверных результатов, поэтому предусмотрен автоматический выбор базовой плоскости - эклиптики или экватора. Уравнение движения Солнца, позволяет определить точную величину и направление тяги от солнечного паруса и положение теневого участка на витке.

На геоцентрическом участке траектории моделировались достаточно

простые в реализации законы управления:

- постоянная ориентация паруса в орбитальной системе координат (плоскость орбиты близка к терминаторной) (рис.1);

- закон Цандера (рис.2) при котором отсутствует тяга от паруса при движении навстречу солнечным лучам (плоскость орбиты близка к эклиптике);

- локально оптимальный закон управления, обеспечивающий максимальную проекцию тяги от паруса на вектор скорости аппарата.

При моделировании геоцентрической раскрутки автоматически определяется оптимальные дата старта и начальное положение линии апертуры относительно направления на Солнце.



Рис.1

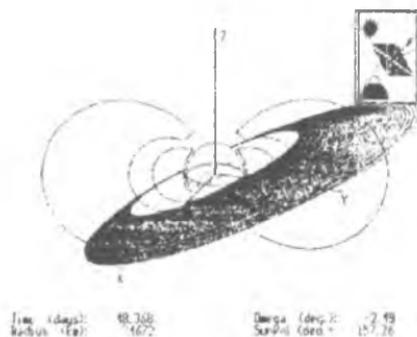


Рис.2

При моделировании гелиоцентрического движения используется математическая модель движения КА с парусной тягой в невозмущенном гравитационном поле Солнца. Задача сводится к определению закона управления парусом, обеспечивающего минимум времени гелиоцентрического маневра при заданной величине парусности S/Δ . Применение принципа максимума Понтрягина, позволяет свести ее к двухточечной краевой задаче.

Граничные условия определяются целью экспедиции. При решении задач встречи (выход на орбиту планеты в конечный момент времени) и формирования заданной орбиты фиксируются координаты и составляющие скорости КА (рис.3), в то время как при построении пролетных траекторий конечная скорость может быть произвольной.

Была разработана процедура приближенного определения начальных значений сопряженных множителей, позволяющая решать краевые задачи

для широкого диапазона параметров КА и паруса и различных баллистических схем перелетов.

При моделировании гелиоцентрических участков определяются даты старта КА от сферы действия Земли обеспечивающие достижение аппаратом планеты назначения.

Для полетов к дальним планетам и выхода из Солнечной системы предусмотрена возможность моделирования гравитационных маневров в сфере действия одной или нескольких промежуточных планет с последующим решением целевой задачи с новыми граничными условиями (рис.4).

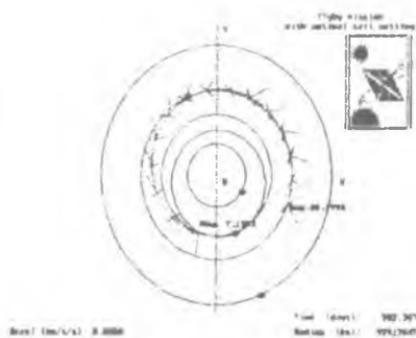


Рис.3

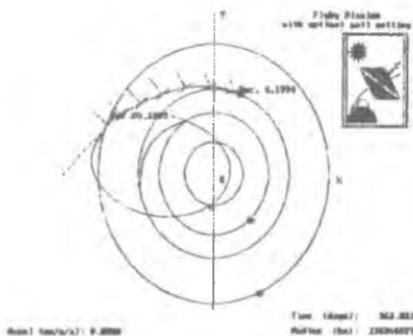


Рис.4

Предложенная методика расчета и моделирования траекторий движения КА с солнечным парусом реализована в программном комплексе "ПАРУС" предназначенном для работы в среде MS DOS на ПЭВМ типа PC AT. Высокая информативность графического отображения движения КА позволяет эффективно решать и наглядно представлять результаты решения широкого комплекса задач, возникающих при проектировании межпланетных полетов КА солнечным парусом.

Список литературы

1. Поляхсва Е.Н. Космический полет с солнечным парусом. М.:Наука. Гл.ред.физ.-мат.лит., 1986.
2. Jayaraman T.S. Time-optimal orbit trajectory for solar sail spacecraft. - J.Guidance and Contr., 1980, v.3, №6.