

УДК 629.787

**ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КА С МАЛОЙ ТЯГОЙ,
ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ПЕРЕЛЕТА ЗЕМЛЯ – МАРС – ЗЕМЛЯ**

Е.А. Перелыгин

Научный руководитель – к.т.н., доцент О.Л. Старинова
Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва

Рассматривается задача эскизного проектирования космического аппарата (КА) с двигателями малой тяги для осуществления замкнутого межпланетного перелета Земля – Марс – Земля с солнечными источниками энергии. Упрощенная массовая модель аппарата содержит сумму масс возвращаемой части, исследовательского аппарата, остающегося на поверхности планеты назначения, массу рабочего тела вместе с системами подачи и хранения, массу источников энергии и двигательных систем и массу конструкции. Массы этих компонентов зависят от проектных параметров, которыми являются тяга двигателей и скорость истечения рабочего тела (РТ).

Задача оптимизации замкнутого межпланетного перелета с двигателями малой тяги в соответствии с теорией сфер действия разбивалась на участки плането- и гелиоцентрического движения. Длительность и расход рабочего тела на участках набора параболической скорости и торможения в сфере действия планет рассчитывались по известным приближенно-аналитическим зависимостям.

Задачи оптимизации межпланетных траекторий перелета сводились к вариационным задачам определения оптимального управления, обеспечивающего минимальный расход РТ при фиксированных длительности и угловой дальности перелета, проектных параметрах КА и стартового положения планет. Движение КА описывалось системой обыкновенных дифференциальных уравнений, приведенной к нормальному виду. В соответствии с формализмом принципа максимума Понтрягина вводится вектор сопряженных переменных и составлялся Гамильтониан. Из условия максимума Гамильтониана определялось оптимальное управление, обеспечивающее минимальный расход РТ.

Таким образом, задача об оптимальном по расходу РТ перелете между круговыми, компланарными орбитами планет сводится к следующей двухточечной двухпараметрической краевой задаче. Требуется найти такие начальные значения сопряженных множителей, чтобы на концах оптимальной траектории выполнялись начальное и конечное условия.

Были получены оптимальное управление и баллистическая схема замкнутого межпланетного перелета Земля-Марс-Земля для КА со следующими параметрами: конечная масса КА 120000 кг, номинальная тяга двигателей 300 Н, скорость истечения РТ 70 км/с. Перелет начинался и заканчивался на исходной круговой геоцентрической орбите высотой 400 км, целевая ареоцентрическая орбита также выбиралась круговой с высотой 300 км. В результате решения краевых задач об оптимальных по расходу РТ перелетах Земля-Марс и Марс-Земля были выбраны оптимальные даты старта и при длительности экспедиции 673 сут. Стартовая масса КА составила 387000 кг.