

Построение статической модели плотности атмосферы Венеры для моделирования движения космического аппарата

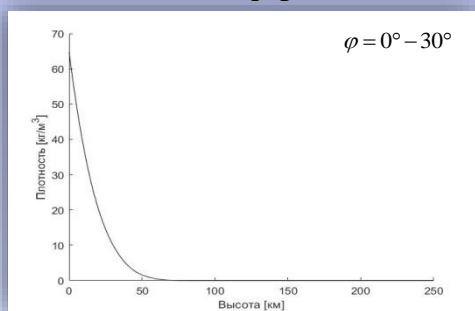


А. Е. Богачева
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

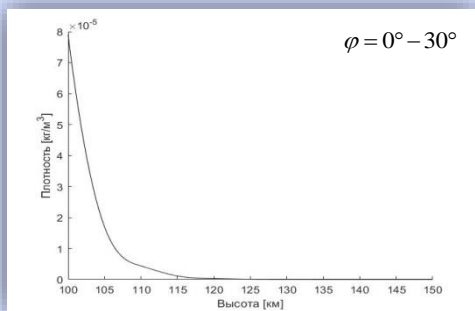
Постановка задачи:

- Рассматривается движение КА на низких орбитах с учётом действия возмущающих ускорений, вызванных сопротивлением атмосферы Венеры.
- Для расчёта возмущающих ускорений строится модель плотности атмосферы Венеры.
- Для расчёта плотности используются реальные данные из моделей атмосферы: "VIRA" (Venus International Reference Atmosphere), Global Empirical Model of the Venus Thermosphere (A. E. Hedin).
- Расчёт плотности производится с помощью кубических сплайнов.
- Для проверки правильности работы модели плотности написана программа на C++ для моделирования движения КА.

Результаты расчёта плотности атмосферы



Зависимость плотности от высоты от 0 км до 250 км



Зависимость плотности от высоты от 100 км до 150 км

Заключение

В результате получена статическая модель плотности атмосферы Венеры, которая является простой в программной реализации и требует малого количества шагов для вычисления плотности на заданной высоте (т.к. требуется посчитать значение полинома третьей степени). Полученные формулы для вычисления плотности могут использоваться для моделирования поступательного движения КА в атмосфере Венеры.

Расчёт плотности атмосферы с помощью кубических сплайнов:

- Вся атмосфера от 0 км до 250 км разбивается на слои с помощью данных, взятых из моделей атмосферы.
- Верхняя точка слоя и нижняя точка слоя соединяются между собой полиномом 3-ей степени:

$$\rho_i(h) = a_i + b_i(h - h_i) + \frac{c_i}{2}(h - h_i)^2 + \frac{d_i}{6}(h - h_i)^3$$

Где i -номер слоя, h_i - высота нижней точки i -го слоя, h -высота в i -м слое.

- a_i, b_i, c_i, d_i - коэффициенты данного слоя, вычисленные из условий непрерывности и гладкости функции, составляющей гладкий кубический сплайн.
- Совокупность всех полиномов 3-й степени составляет кубический сплайн.
- Для доопределения условий используется "Естественный сплайн".
- В итоге получается пять сплайнов, в зависимости от широты места полёта КА выбирается определённый сплайн.

Расчёт возмущающих ускорений, действующих на КА

- В работе рассматривается движение КА шарообразной формы.
- Уравнение движения ИСВ с учётом силы лобового сопротивления выглядит следующим образом:

$$\ddot{\mathbf{r}} = -\frac{\mu \mathbf{r}}{r^3} - \frac{\mathbf{D}}{m}$$

- Для вектора лобового сопротивления справедливо:

$$\mathbf{D} = \frac{|\mathbf{v}| v c_x S \rho(h, \varphi)}{2}$$

Здесь $\rho(h, \varphi)$ - плотность атмосферы S - площадь миделева сечения космического аппарата, c_x - безразмерный коэффициент лобового сопротивления, \mathbf{v} - скорость КА.

- Для получения численного решения уравнений движения КА в атмосфере Венеры используется метод Рунге-Кутты 4-го порядка.