

УДК 629.782

Исследование движения пилотируемого спускаемого аппарата в атмосфере Венеры

Загуменная Кристина Дмитриевна¹
Миронов Евгений²

kristinushka.dushka@gmail.com
cra6alocker@yandex.ru
SPIN-код: 3256-8997

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

² Самарский университет, Самара, Россия

Аннотация. В работе рассматривается концепт пилотируемого спускаемого аппарата (СА) в атмосфере Венеры. В качестве основных проектных параметров исследуются математическая модель движения СА в зависимости от этапа полета, зависимость перегрузки испытываемой экипажем при спуске аппарата и данные температурного нагружения поверхности аппарата в зависимости от условий входа в атмосферу. В работе проведена оценка реализации предлагаемого СА для миссий по исследованию атмосферы Венеры.

Ключевые слова: Венера, спускаемый аппарат, атмосфера, орбитальный участок, модель движения, перегрузка

Введение. Венера рассматривается как один из потенциальных объектов для создания внеземных поселений в рамках долгосрочной космической экспансии. Несмотря на сходство с Землей по массе и размерам, Венера характеризуется парниковым эффектом, изучение которого значимо для планетологии и климатологии [1].

В рамках международной молодежной научной школы «Исследование космоса: теория и практика» (2025 г.) была поставлена задача разработки обитаемой многофункциональной платформы для работы в атмосфере Венеры. В данной работе представлен проект по транспортировке экипажа, оборудования и снабжения на станцию, расположенную в районе гор Максвелла [2], с использованием спускаемого аппарата (СА).

Большинство исследований посвящено баллистическому спуску в атмосфере Венеры автоматических аппаратов. Пилотируемый спуск предъявляет дополнительные требования к допустимым перегрузкам на СА. Например, в работе [3] исследуется движение СА схемы «несущий корпус», однако используемый режим торможения в атмосфере приводит к высоким перегрузкам.

В представленном исследовании выбран СА аэродинамической схемы «клипер». Для анализа атмосферного участка спуска разработана математическая модель движения центра масс СА в координатной форме:

$$\ddot{X} = -\frac{\mu_V X}{R^3} + \frac{\rho(H)V^2 S}{2m} \left(C_Y \sin \alpha \frac{X}{R} - C_X \frac{V_X}{V} \right);$$

$$\ddot{Y} = -\frac{\mu_V Y}{R^3} + \frac{\rho(H)V^2 S}{2m} \left(C_Y \sin \alpha \frac{Y}{R} - C_X \frac{V_Y}{V} \right);$$

$$\ddot{Z} = -\frac{\mu_V Z}{R^3} + \frac{\rho(H)V^2 S}{2m} \left(C_Y \sin \alpha \frac{Z}{R} - C_X \frac{V_Z}{V} \right);$$

где $V = V_{\text{wind}}(H) \cdot \bar{e}_{\text{wind}} + \sqrt{V_X^2 + V_Y^2 + V_Z^2}$, α — угол атаки; μ_V — гравитационный параметр Венеры; C_X — коэффициент силы лобового сопротивления СА; C_Y — коэффициент подъемной силы СА; $\rho(H)$ — плотность атмосферы; $\{X, Y, Z\}$ — положение СА в абсолютной системе координат с центром в Венере; V — линейная скорость СА; $V_{\text{wind}}(H)$ — скорость Венерианского ветра; $\bar{e}_{\text{wind}}$ — вектор направления Венерианского ветра; m — масса СА.

Заключение. В рамках работы разработана и представлена модель движения спускаемого аппарата аэродинамической схемы «Клипер» в атмосфере Венеры и на участке торможения на внеатмосферном участке. Обоснован выбор проектных параметров СА. Результаты моделирования подтверждают безопасность для экипажа, демонстрируя соответствие приемлемым уровням перегрузки.

Список источников

- [1] Кораблёв О.И. Марс и Венера: разные судьбы планет земной группы. *Вестник Российской академии наук*, 2016, т. 86, № 7, с. 587–602.
<https://doi.org/10.7868/S0869587316070100>
- [2] Keep M., Hansen V.L. Structural history of Maxwell Montes, Venus: Implications for Venusian mountain belt formation. *Journal of Geophysical Research*, 1994, vol. 99, no. E12, pp. 26015–26028.
- [3] Косенкова А.В., Миненко В.Е., Агафонов Д.Н. Исследование баллистического режима спуска маневренного посадочного аппарата на поверхность Венеры. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение*, 2020, № 4 (133), с. 42–60.
<https://doi.org/10.18698/0236-3941-2020-4-42-60>