

УДК 629.785

## Адаптивная система управления пространственным движением реактивного лунного модуля

Якин Андрей Вадимович

yakinandrey2003@gmail.com

Карпунин Александр Александрович<sup>2</sup>

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**Аннотация.** Основная сложность в управлении маломассовыми лунными модулями — это отсутствие эффективных алгоритмов. Причина в том, что современные системы управления разработаны для аппаратов массой более 300 кг и не учитывают специфику легких моделей.

**Ключевые слова:** космический аппарат, система управления, Луна, исследовательский аппарат

**Введение.** В данной работе в качестве объекта управления рассматривается реактивный лунный модуль (РЛМ) малых размеров: высота 0,6 м, диаметр по опорам 1 м. Масса аппарата равна 180 кг. Двигатели аппарата сгруппированы в 4 блока по 4 двигателя. В работе предлагается применение алгоритмов адаптации ПИД-регуляторов для стабилизации и управления движением РЛМ по аналогии с типовыми решениями, применяемыми для стабилизации квадрокоптеров: линейные квадратичные регуляторы [1], скользящий режим управления [2], ПД-регулятор с корректирующим фильтром [3].

Проведено математическое моделирование алгоритмов управления, обеспечивающих точное выполнение маневров в условиях лунной гравитации и отсутствия атмосферы.

**Методы и материалы; результаты.** Основной задачей РЛМ является выполнение полета по заданным точкам для перемещения грузов. Система управления РЛМ должна обеспечивать перемещение и стабилизацию положения РЛМ.

В данной работе учитываются нелинейности, такие как изменение массы аппарата из-за расхода топлива и добавления груза, изменение моментов инерции, изменение центра тяжести РЛМ, минимальное время включения двигателя и выход на номинальный режим.

Система автоматического управления РЛМ представлена в виде двух подсистем: контур угловой стабилизации и контур управления положением РЛМ.

Для угловой стабилизации РЛМ используется ПИД-регулятор. Подсистема стабилизации получает на вход требуемое угловое положение и текущее. После этого невязка подается на регулятор, далее для уменьшения количества включений сигнал подается на фильтр в виде аperiодического звена первого порядка.

Для контура управления положением РЛМ используется ПД-регулятор, коэффициенты которого изменяются согласно алгоритму адаптации в зави-

симости от массы аппарата и дальности перемещения. Подсистема автоматического управления перемещением получает на вход требуемые значения координат, которые поступают из блока задания полетного маршрута и текущее значение координат. После этого невязка подается на регулятор. Далее для уменьшения количества включений сигнал подается на фильтр в виде апериодического звена первого порядка. Сигналы с двух подсистем подаются в подсистему управления двигателями.

Проводится моделирование полета РЛМ по маршруту. Полученные результаты показывают корректную работы системы стабилизации углового положения и системы управления положением.

**Заключение.** В настоящей работе введена математическая модель движения реактивного лунного модуля у поверхности Луны. Решены задачи стабилизации углового положения и управления положением РЛМ в пространстве. Разработаны два канала управления: регулирование углового положения — ПИД-регулятор с последующей фильтрацией; стабилизация положения — адаптивный ПД-регулятор с последующей фильтрацией. Полученная система управления движениями обеспечивает возможность решения задачи перемещения между заданными точками.

#### Список источников

- [1] Santos O., Romero H., Salazar S., Lozano R. Real-time Stabilization of a Quadrotor UAV: Nonlinear Optimal and Suboptimal Control. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2013, vol. 70, iss. 1 (4), pp. 79–91.
- [2] Li T., Zhang Y., Gordon B.W. Passive and active nonlinear fault tolerant control of a quadrotor unmanned aerial vehicle based on the sliding mode control technique. *Journal of Systems and Control Engineering*, 2013, vol. 227, pp. 12–23.
- [3] Gong X., Bai Y. et al. Trajectory tracking control of a quad-rotor UAV based on command filtered backstopping. *Third International Conference on Intelligent Control and Information Processing (ICICIP)*. IEEE, 2012, pp.179–184.  
<https://doi.org/10.1109/ICICIP.2012.6391413>