

УДК 629.783

Оценка коэффициента лобового сопротивления сверхнизкоорбитальных космических аппаратов

Соболев Иван Анатольевич^{1(*)}

sobolevia@bmstu.ru

SPIN-код: 3769-5221

Самыловский Иван Александрович²

ivan.samylovskiy@cosmos.msu.ru

SPIN-код: 4756-1342

Шелахаев Сергей Андреевич²

shelakhaev_sa@cosmos.msu.ru

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия² МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрено определение коэффициента лобового аэродинамического сопротивления C_x для космического аппарата (КА), находящегося на сверхнизкой околоземной орбите. Представлены результаты численного расчета для модели малого КА. Показано, что на сверхнизких высотах заметное влияние на величину C_x оказывает геометрическая форма носовой части КА. Приведены результаты расчетов коэффициента сопротивления для КА, работающих в диапазоне орбит от 150 до 300 км. Дана оценка ожидаемых величин C_x для сверхнизкоорбитальных КА, приведены выводы, касающиеся учета влияния сопротивления атмосферы при проектных расчетах.

Ключевые слова: верхняя атмосфера, сверхнизкая орбита, низкоорбитальные космические аппараты, аэродинамика космических аппаратов, коэффициент сопротивления, численное моделирование

Введение. Для сверхнизкоорбитального КА, осуществляющего полет по орбите высотой 150–300 км, определяющим фактором внешнего воздействия является сопротивление остаточной атмосферы.

Для проектного анализа КА и определения его энергетических потребностей, а также выбора характеристик двигательной установки, необходимо знать величину действующего аэродинамического сопротивления. Определить эту величину возможно, только зная аэродинамические коэффициенты КА, определению которых в широкодоступной профильной литературе не уделяется обширного внимания.

Целью данной работы является исследование изменения величины коэффициента лобового сопротивления КА C_x при изменении высоты орбиты и геометрической формы КА с последующей выработкой рекомендаций для проектантов КА.

Методы и материалы; результаты. Аналитическое определение коэффициентов лобового сопротивления КА является достаточно трудоемкой задачей [1]. Использованию для решения этой задач численных методов ранее был посвящен ряд зарубежных статей [2, 3], в которых осуществлялся поиск оптимальной формы корпуса сверхнизкоорбитального КА. Однако в этих работах обводы корпуса являются достаточно сложными в технологическом

отношении. В данной работе решалась задача определения коэффициентов C_x для более технологически простых форм КА с корпусом шестигранной формы с плоской носовой частью, с плоским осесимметричным носовым заострением и плоским зеркальным носовым заострением.

Исследовалось движение гипотетического КА по орбите в диапазоне высот от 150 до 300 км. Исследования проводились в программном комплексе DS1V-DS3V. Для проведения расчетов создавались модели исследуемых корпусов КА в формате SolidWorks. В ходе расчетов были получены величины коэффициентов C_x для рассматриваемых моделей и сделаны выводы о возможном поведении КА на сверхнизкой орбите.

Заключение. Проведен анализ величины C_x сверхнизкоорбитального КА. Показано, что реальная величина коэффициента сопротивления отличается от принятой в ГОСТ для КА, находящихся на средневысотных орбитах. В то же время рост сопротивления атмосферы, влияющий на орбитальную динамику сверхнизкоорбитального КА, может быть парирован подбором требуемых характеристик бортовой двигательной установки. Оценка величины атмосферного воздействия показывает принципиальную реализуемость сверхнизкоорбитального КА на основе отечественных электроракетных двигателей.

Список источников

- [1] Hild F., Traub C., Pfeiffer M., Beyer J., Fasoulas S. Optimisation of satellite geometries in Very Low Earth Orbits for drag minimisation and lifetime extension. *Acta Astronautica*, 2022, vol. 201, pp. 340–352. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2022.09.032>
- [2] Marianowski C., Traub C., Pfeiffer M. Satellite design optimization for differential lift and drag applications. *CEAS Space J.*, 2025, vol. 17, pp. 11–29. <https://doi.org/10.1007/s12567-024-00550-2>
- [3] Груднистый В.В., Камеко В.Ф., Резниченко Ю.Т., Яскевич Э.П. *Аэродинамические характеристики спутника с аэродинамической системой стабилизации. Космическая стрела: оптические исследования атмосферы*. Москва, Наука, 1974, 328 с.