

УДК 629.7.036.73

Коллоидный ракетный двигатель («электроспрей») на ионной жидкости для космических аппаратов формата CubeSat

Егоров Игорь Дмитриевич^(*)iegorov@yandex.ru
SPIN-код: 6118-9280

НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены задачи, стоящие перед двигательными установками (ДУ) космических аппаратов (КА) формата CubeSat в диапазоне размеров от 3U до 16U, на основе этого определены требования к ДУ таких аппаратов. Рассмотрены различные принципиальные конструкции электрических ракетных двигателей (ЭРД), называемых «коллоидными» или «электроспрей», сделаны выводы о наиболее перспективном варианте конструкции для применения на КА формата CubeSat. Изготовлены первые прототипы коллоидных двигателей.

Ключевые слова: коллоидный двигатель, электроспрей, электрический ракетный двигатель, ионная жидкость, CubeSat

Введение. Начиная с прошлого десятилетия в мире наблюдается взрывной рост популярности КА типа CubeSat, причем особое значение имеют группировки, состоящие из множества подобных спутников [1, 2]. Для эффективной работы КА в составе группировки необходимо обеспечение их правильного взаимного расположения (фазирование в орбитальной плоскости), а также стабильности орбиты, что эффективнее всего достигается за счет применения корректирующих ДУ [3, 4]. При этом срок службы КА CubeSat зачастую не более 5 лет [2].

Помимо применения КА формата CubeSat на околоземных орбитах они постепенно начинают применяться для исследования тел Солнечной системы [5], что также требует наличия ДУ.

Одним из перспективных вариантов двигателей для CubeSat являются коллоидные ракетные двигатели, известные также как двигатели типа электроспрей, работающие на ионных жидкостях [6, 7], которые электростатически ускоряют ионы и/или наноразмерные капли.

Методы и материалы; результаты. Используя информацию об усредненной плотности земной атмосферы [8] на популярной низкой солнечно-синхронной орбите высотой 500 км, а также стандартные габариты форматов CubeSat от 3U до 16U, была сделана оценка запаса ΔV и, с учетом типичной массы подобных КА, полного импульса ДУ на 5 лет работы. Для CubeSat 3U оценка составляет порядка 250 Нхс, для 16U — порядка 1000 Нхс. Учитывая это, был сделан вывод о достаточности удельного импульса (УИ) ДУ порядка 5 км/с (от 3 до 9 км/с), т. к. уже при таком УИ масса запаса рабочего тела будет составлять лишь порядка 1 % от массы КА. Повышение УИ сверх этого приведет к неоправданному росту энергетической цены тяги.

Для получения УИ в необходимом диапазоне требуется обеспечить работу двигателя в режиме ускорения капель ионной жидкости, а не отдельных ионов, что, согласно литературным источникам, характерно для конструкций на основе смачиваемых изнутри капилляров [7]. Именно такая конструкция была выбрана для отработки. Изготовлены первые прототипы двигателей.

Заключение. Был определен оптимальный для CubeSat диапазон удельных импульсов ЭРД. На основе этого была выбрана оптимальная конструкция коллоидного ракетного двигателя и изготовлен ряд прототипов соответствующей конструкции.

Список источников

- [1] Кара О., Берклэнд Р., Чжан Л.Л., Кайтац У. Революционный вызов роев CubeSat. *Воздушно-космическая сфера*, 2018, № 2 (95), с. 58–65.
<https://doi.org/10.30981/2587-7992-2018-95-2-58-6560>
- [2] Лявданский К.В. Проблема надежности спутников формата Cubesat. *Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: сб. докл.* Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2025, с. 110–114.
- [3] Bonin G.R., Roth N., Armitage S., Newman J., Risi B., Zee R.E. CanX–4 and CanX–5 Precision Formation Flight: Mission Accomplished. *Proceedings of the 29th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites*, Logan, UT, 2015.
- [4] D'Amico S., Carpenter J.R. Satellite Formation Flying and Rendezvous. *Position, Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century: Integrated Satellite Navigation, Sensor Systems, and Civil Applications*, 2020, vol. 2.
<https://doi.org/10.1002/9781119458555.ch63>
- [5] Комбаев Т.Ш., Артемов М.Е. Тенденции развития космических аппаратов форм-фактора Cubesat для исследования дальнего космоса. *Решетневские чтения. XXVII Междунар. науч.-практ. конф., посв. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева: матер.* Красноярск, Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 2023, с. 394–396.
- [6] Alnaqbi S., Darfilal D., Sweil S.S.M. Propulsion Technologies for CubeSats: Review. *Aerospace*, 2024, vol. 11, art. no. 502. <https://doi.org/10.3390/aerospace11070502>
- [7] Dandavino S., Ataman C., Ryan C.N., Chakraborty S., Courtney D., Stark J.P.W., Shea H. Microfabricated electrospray emitter arrays with integrated extractor and accelerator electrodes for the propulsion of small spacecraft. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 2014, vol. 24, no. 7.
<https://doi.org/10.1088/0960-1317/24/7/075011>
- [8] *U.S. Standard Atmosphere*. NTRS - NASA Technical Reports Server. U.S. Government Printing Office, Washington, 1976.