

УДК 621.65

Особенности заправки ксеноном двигательных установок формата кубсат

Дронов Павел Александрович

dronov.pa@fakel-russia.com

Зыков Александр Александрович

zykov.aa@fakel-russia.com

Нестеренко Александр Никитович

Nesterenko@fakel-russia.com

АО «ОКБ «Факел», Калининград, Россия

Аннотация. Рассмотрены особенности заправки ксеноном двигательных установок (ДУ) кубсатов без использования компрессоров высокого давления. Метод заключается в перетекании газа под высоким давлением в предварительно охлажденную ДУ с контролем массы поступившего рабочего тела (РТ). Подготовке к заправке должно предшествовать вакуумирование баллонов. Для заправки криптона и более легких газов требуется компрессор.

Ключевые слова: заправка газом, двигательная установка, кубсат, вакуумирование

Введение. Актуальность разработки новых методов заправки кубсатов приобретает особое значение в условиях стремительного роста числа запусков кубсатов и обострения проблемы загрязнения околоземного пространства. Ежегодно на орбиту выводится около 300 кубсатов и их количество только возрастает [1]. Известны способы заправки двигательных установок: с использованием компрессоров высокого давления и бескомпрессорный метод «перетекания» [2].

Методы и материалы; результаты. В минимальной комплектации система хранения РТ содержит заправочную горловину, трубопроводы, один или несколько баллонов. Так МКА «Грифон» имеет два металлокомпозитных баллона объемом 210 мл и одну заправочную горловину. ДУ, используемая в МКА «Грифон», может быть использована для кубсатов размерами от 12U до 48U. Рабочим телом кубсата является ксенон [3].

Методы заправки в общем случае делятся на два подэтапа — вакуумирование и заправка.

Вакуумирование трактов и баллонов выполняется через заправочную горловину с использованием форвакуумных безмаслянных насосов, обеспечивающих давление на уровне $1 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. Так как вакуумирование выполняется через тонкие трубопроводы и в системе хранения не предусмотрены вакуумметры, можно допустить, что в баллонах может остаться около $0,001 \text{ кгс/см}^2$ воздуха. В случае последующего заполнения трактом РТ и повторного вакуумирования остаточное давление воздуха (p_v , кгс/см^2) можно оценить по формуле

$$p_v = 0,001n, \quad (1)$$

где n — количество вакуумирований.

Очевидно, что после трех полосканий системы, концентрация воздуха в РТ будет существенно ниже чувствительности средств изменений, поэтому чистота РТ обеспечивается технологией и не требует отбора проб для анализа.

После вакуумирования выполняется первая стадия заправки и заключается в свободном перетекании ксенона из заправочного баллона в блок хранения РТ до момента выравнивания давлений в обеих полостях.

Во второй стадии заправку системы хранения РТ выполняют «перетеканием» ксенона путем его частичной конденсации за счет охлаждения системы.

Оптимальной является плотность заправки кубсата [3] ксеноном в диапазоне от 1,8 до 2,0 кгс/см², так как в этом случае давление газа не превысит 190 кгс/см², на которое рассчитана арматура системы хранения и подачи РТ.

Заключение. Проведенный анализ подтверждает практическую целесообразность применения бескомпрессорного метода заправки ксеноном двигательных установок формата кубсат. Ключевым преимуществом является ее способность обеспечивать требуемую массу рабочего тела в компактных объемах без использования громоздкого оборудования, такого как методы с использованием в компрессорах высокого давления.

Список источников

- [1] *CubeSats & Nanosatellites-2024 Statistics, Forecast and Reliability*. URL: <https://www.nanosats.eu> (accessed 13.11.2025).
- [2] Зыков А.А., Нестеренко А.Н. Обзор технологий заправки инертными газами малых космических аппаратов формата кубсат. *Перспективы развития двигателестроения. Междунар. науч.-техн. конф. имени Н.Д. Кузнецова: матер.* Самара, Изд-во Самарского университета, 2025, с. 753–754.
- [3] Нестеренко А.Н., Олотин С.В., Подгорных Р.О., Пярых И.Н. Двигатель Д-18 и двигательная установка для МКА «Грифон». *Актуальные проблемы создания и совершенствования космических и специальных систем. 1 Всерос. науч.-техн. конф.: матер.* Санкт-Петербург, ВК имени А.Ф. Можайского, 2025, с. 185–189.