

4. <https://vpk.name/library/f/united-40.html> (дата обращения 20.05.2024).

5. Вислов, И. П. Проектирование лёгких и сверхлёгких летательных аппаратов: учеб. пособие / И. П. Вислов / – Самар. гос. аэрокосм. ун-т. – Самара, 2005. – 114 с.

6. Балакин, В.Л. Динамика полёта самолёта. Расчёт траекторий и лётных характеристик: конспект лекций / В. Л. Балакин, Ю. Н. Лазарев. – Самар. гос. аэрокосм. ун-т. – Самара, 2002. – 56 с.

7. Torenbeek, E. Advanced aircraft design: Conceptual design, analysis and optimization of subsonic civil airplanes / E. Torenbeek / – A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2013. – 410 с.

8. Anderson, J. D. Aircraft performance and design / J. D. Anderson / – Tata McGraw-Hill Edition, 2010. – 580 с.

9. Sadraey, M. H. Aircraft design: A Systems Engineering Approach / M. H. Sadraey / A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2013. – 778 с.

УДК 629.78 (075)

Яннаева Е.А., Пятых И.Н.

РАССМОТРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КРИПТОНА ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭРДУ ДЛЯ МКА

В настоящее время космическая отрасль является одной из наиболее быстроразвивающихся в мире из-за перехода многих технических решений в индустриальную фазу и коммерциализации рынка. Наиболее интенсивно развивается производство непилотируемых малых космических аппаратов (МКА). Согласно классификации космических аппаратов (КА) по массе, к МКА можно отнести спутники с массой от 500 до 1000 кг.

АО «ОКБ «Факел» занимается разработкой электроракетных двигателей (ЭРД) с 1965 года и является основным в России поставщиком таких двигателей для КА. Доля КА с двигателями пред-

приятия составляет 60% от общего количества КА в России и до 10% в мире (без учёта Space-X).

Моноблочные ЭРДУ на базе СПД-50М

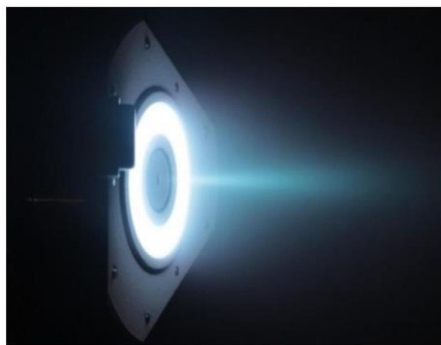
На сегодняшний день АО «ОКБ «Факел» создаёт моноблочные ЭРДУ различной компоновки на базе стационарного плазменного двигателя СПД-50М, внешний вид которого представлен на рис. 1, для малых космических аппаратов.

ЭРДУ предназначена для создания тяговых корректирующих импульсов и в период активного функционирования выполняет следующие функции:

- разведение МКА по заданным орбитальным положениям после отделения от разгонного блока;
- поддержание параметров рабочей орбиты в требуемых пределах;
- манёвр торможения для сведения МКА с орбиты после вывода МКА из эксплуатации.



а)



б)

Рис. 1. Двигатель СПД-50М (SPT-50M):

а – внешний вид двигателя; б – испытания двигателя в вакуумной камере

Одной из актуальных задач, стоящих перед АО «ОКБ «Факел», является создание ЭРДУ для коммерческих заказчиков. ЭРДУ представляет собой моноблок, составные части которого размещаются на основании. Внешний вид ЭРДУ представлен на рис. 2.

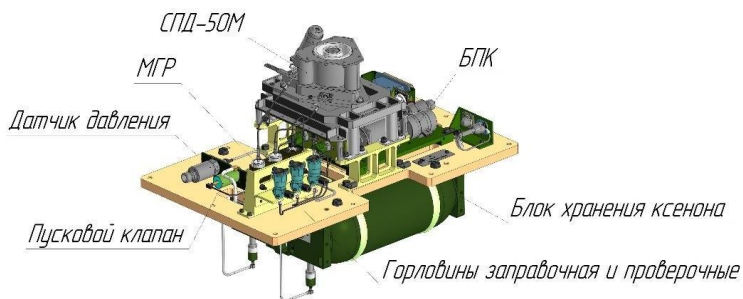


Рис. 2. Внешний вид ЭРДУ

В состав ЭРДУ входят: двигатель СПД-50М; блок хранения ксенона; блок подачи ксенона (БПК), который предназначен для понижения давления ксенона и обеспечения его подачи от системы хранения к модулю газораспределения; модуль газораспределения (МГР), который предназначен для регулирования расхода ксенона и его распределения между анодом и катодом двигателя; пусковой клапан; датчик давления и датчики температуры; трубопроводы и проверочный и заправочный горловины, предназначенные для вакуумирования, консервации и заправки ксеноном.

Рабочим телом для ЭРДУ является ксенон высокой степени чистоты. Технические характеристики ЭРДУ представлены в табл. 1. Конструктивной особенностью данной ЭРДУ является отсутствие резервирования составных частей, что позволило уменьшить габаритно-массовые характеристики. Внешний вид БПК и МГР показан на рис. 3.

Табл. 1. Технические характеристики ЭРДУ

| Характеристика | Значения |
|--|-----------------|
| Суммарный импульс тяги с учетом 20% запаса, не менее | 45 кН·с |
| Удельный импульс тяги, не менее | 1200 с |
| Напряжение разряда | 300 В |
| Ток разряда | 1 А |
| Тяга двигателя | 17,2 мН |
| Масса незаправленной ЭРДУ без съемных элементов, не более | 13,4 кг |
| Требуемая масса ксенона, не менее | 3,8 кг |
| Объем баллона (в блок хранения ксенона входят два баллона) | 1,74 л |
| Вероятность безотказной работы ЭРДУ | 0,97 |
| Габаритные размеры, мм | 500 x 306 x 366 |

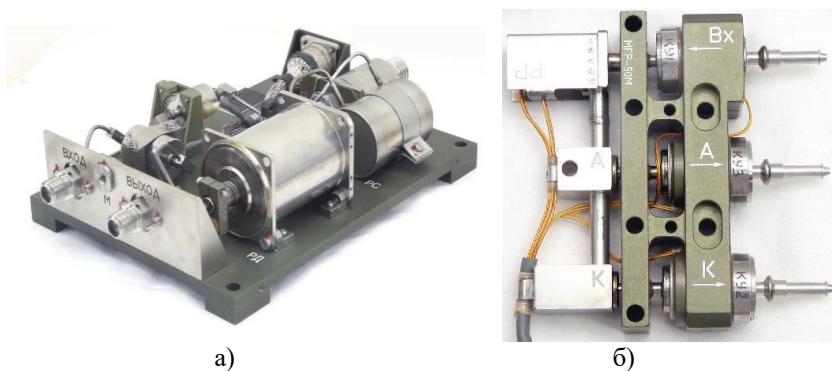


Рис. 3. Внешний вид BPK и MGR:
а) – BPK; б) – MGR

Потребность в создании многоспутниковых группировок МКА приведёт к росту потребляемого объёма ксенона и высокой стоимости.

Для решения данной проблемы можно рассмотреть применение в качестве рабочего тела криптона высокой степени чистоты, который так же, как и ксенон, является инертным газом.

Криптон является более дешёвым рабочим телом, чем ксенон, но имеет более высокий потенциал ионизации, что снижает эффективность его применения. Криптон также имеет худшие параметры складирования, что повышает массу системы хранения и подачи. Для обеспечения двигателем требуемого суммарного импульса тяги при значении удельного импульса тяги равном 1060 с потребуется 4,3 кг криптона. Сравнительный анализ характеристик ксенона и криптона представлен в табл. 2.

Табл. 2. Сравнительный анализ рабочих тел

| Параметр | Ксенон | Криптон |
|--------------------------------|--------|---------|
| Атомная масса | 131,3 | 83,8 |
| Первый потенциал ионизации, эВ | 12,1 | 14 |
| Стоимость, тыс. руб. за кг | 230 | 20 |

Объём системы хранения рабочего тела зависит от давления заправки. Зависимость плотности рабочего тела (ксенона, криптона, аргона) от давления приведена на рис. 4.

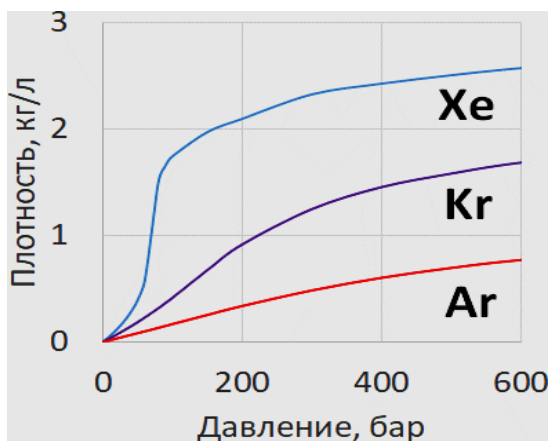


Рис. 4. Зависимость плотности рабочего тела от давления

Блок хранения ксенона ЭРДУ, представленной на рис. 2, состоит из двух алюминиевых баллонов, максимальное давление в которых составляет 108 бар. В качестве альтернативной системы хранения можно рассмотреть металлокомпозитный баллон (МКБ), давление заправки у которого составляет 193 бар. Объем системы хранения для размещения требуемой массы криптона, рассчитанный для различных значений давления, приведен в табл. 3.

Табл. 3. Объем системы хранения криптона

| Давление, бар | Тип баллона | Плотность, кг/л | Объем баллона, л |
|---------------|--------------------|-----------------|------------------|
| 108 | Алюминиевый | 0,5 | 8,6 |
| 193 | Металлокомпозитный | 0,9 | 4,8 |

Таким образом, при применении в качестве рабочего тела криптона блок хранения будет состоять:

- из 5 алюминиевых баллонов, что приведёт к увеличению значения массы ЭРДУ на 46% и габаритного размера (ширины) на 12%;

- из одного металлокомпозитного баллона объёмом 5 л, что приведёт к увеличению габаритного размера (высоты) на 12%, при этом значение массы ЭРДУ уменьшится за счёт применения МКБ на 7%.

С учётом данных, указанных в табл. 2, стоимость требуемого запаса ксенона, необходимого для функционирования ЭРДУ, составляет 870 тысяч рублей, стоимость требуемого запаса криптона – 86 тысяч рублей.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что применение криптона в качестве рабочего тела для функционирования ЭРДУ позволит снизить стоимость МКА, но приведёт к увеличению значений массогабаритных характеристик.

Заключение

Учитывая высокий интерес к созданию многоспутниковых космических группировок с большим количеством МКА, возросла потребность в снижении затрат на изготовление ЭРДУ. Применение криптона в качестве рабочего тела для спутниковых группировок позволит решить данную проблему.

Библиографический список

1. Нестеренко, А. Н. ОКБ «Факел»: Филиал ОКБ «Заря». Филиал института двигателей. Предприятие п/я 3740. Калининградское отделение лаборатории двигателей АН СССР: к 50-летию предприятия / Под. ред. В.М. Мурашко. - Калининград: ИП Мишуткина И.В., 2005. 240 с.

2. Саевец, П.А. Разработка двигателя малой мощности для работы на криптоне / П. А. Саевец, А. В. Румянцев. - Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта / – Калининград: Балтийский федеральный ун-т. 2016. – С. 80-87.