

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ НАНОСПУТНИКА

Под наноспутниками (НС) по существующей классификации [1, 2] понимаются космические аппараты (КА) с массой от 1 до 20 кг, выводящиеся на околоземные орбиты с помощью ракет-носителей среднего класса в качестве попутной полезной нагрузки при запуске полноразмерных космических аппаратов. В процессе разработки и создания подобных КА неизбежно встаёт вопрос формирования рациональной по целому ряду критериев системы ориентации, которая будет обеспечивать требуемое угловое движение НС в процессе выполнения целевой задачи. Расчёты показывают, что для реализации типовых манёвров на орбите, таких как поддержание заданной ориентации, на борту НС необходимо создать тягу двигательной установки порядка нескольких грамм силы. В некоторых случаях (в режимах поддержания прецизионной ориентации) для НС необходима тяга на три порядка меньше, то есть около нескольких миллиграмм силы.

Такие малые уровни потребных тяг наряду с жёсткими требованиями по минимуму расхода рабочего тела обуславливают создание для НС специальной системы ориентации, оснащённой двигательной установкой на холодном газе [2].

Двигательные системы на холодном газе получили широкое распространение применительно к большим спутникам [3]. Основными видами рабочего тела у таких спутников являются воздух, азот, аргон, аммиак и др. Азот и воздух обеспечивают получение наилучших энергетических характеристик газореактивной системы. Такие рабочие тела обладают хорошими эксплуатационными характеристиками, широко используются в промышленности и имеют низкую стоимость.

Другие рабочие тела, такие как водород, гелий и неон, позволяют получать в системах на холодном газе более высокую удельную тягу, но не нашли практического применения из-за малой плотности, поскольку с увеличением потребного полного импульса тяги возрастут размеры и масса баллонов для размещения газа. В [3] приводятся следующие данные по удельной тяге двигательных установок на холодном газе:

- рабочее тело – азот; удельная тяга порядка 720 (Н·с)/кг;
- рабочее тело – водород; удельная тяга порядка 5750 (Н·с)/кг.

Таким образом, водород как рабочее тело может обеспечить создание более экономичных систем ориентации. Поэтому он может стать одним из основных рабочих тел для двигательных установок НС. Однако возникает проблема его хранения на борту НС. Огра-

ниченная масса и габариты таких космических аппаратов не позволяет строить двигательные установки на уже известных принципах, сохраняя газообразное рабочее тело в баллонах высокого давления с последующей подачей его через понижающий редуктор на систему сопел.

В настоящее время для хранения водорода существуют четыре основные технологии: в виде жидкости, сжатого газа, металлгидридов и при помощи адсорбции водорода углеродными наноматериалами [4, 5, 6]. В [7] приводятся значения объёмной энергетической плотности $E(w)$ для водорода в различных формах хранения, объёмной плотности ρ и массовой плотности $W(t)$ (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели плотности водорода

Показатель	Газ	Жидкость	Металлогидриды	Нано-структуры
$E(w)$, ГДж/м ³	4,7	9,0	10,0	3,5
ρ , кг/м ³	36,0	70,8	150,8	30,0
$W(t)$, масс. %	10,0	1,6	4,5	10,0

Термодинамические параметры, при которых были получены данные таблицы 1, приведены в том же источнике, в частности, результат $W(t)=10$ масс. % был получен на углеродных нанотрубках, покрытых одноатомным слоем никеля (условия адсорбции: $T=300$ К, $P=0,1$ МПа; температура десорбции $T=328$ К).

Из анализа этих данных следует, что показатели энергетической, объёмной и массовой плотностей водорода в газообразном состоянии хранения и в наноструктурах имеют приблизительно одинаковые значения. Это означает, что углеродные наноструктуры в перспективе могут быть использованы для хранения молекулярного или атомарного водорода на борту НС в качестве рабочего тела для системы ориентации.

Также необходимо отметить, что в настоящее время нельзя уверенно утверждать, что найдены пределы адсорбционной способности углеродных нанотрубок. Они являются производными фуллеренов, адсорбционные свойства которых изучены слабо. Кроме того, наряду с обычными фуллеренами существуют так называемые дефектные фуллерены, оболочки которых раскрыты и внутреннее пространство пригодно для адсорбции молекул водорода – при этом возникает двусторонняя адсорбция.

Применительно к рассматриваемой проблеме формирования системы ориентации наноспутника важным является вопрос о технической реализации аккумуляторов водорода на борту аппарата. В этой связи целесообразным, по-видимому, будет использовать углеродные наноматериалы в качестве конструкционных материалов в компоновке космического аппарата.

Библиографический список

- 1 Овчинников, М. Ю. Малые мира сего [Текст]/М. Ю. Овчинников//Компьютерра – 2007. – №15 – С. 37-43.
- 2 Дубовой, А. Н. Классификация космических средств [Текст]/А. Н. Дубовой, А. Ф. Романенко//Сборник трудов СИПРИА. – 2001. – Вып. 8. – С. 42-45.
- 3 Беляев, Н. М. Расчёт и проектирование реактивных систем управления космических летательных аппаратов [Текст]/Н. М. Беляев, Е. И. Уваров. М.: Машиностроение, 1974. – 199 с.
- 4 Macland, A. Y. Hydrogen storage for automobile transport – survey and approbation. – Institute of Energy Technology, 2000. – 45 p.
- 5 Hirscher, M. et al. Hydrogen storage in carbon nanostructures//Journal of Alloys and Compounds. – 2002. – Vol. 330-332. – p. 654-658.
- 6 Zuttel, A. et al. Hydrogen sorption by carbon nanotubes and other carbon nanostructures//Journal of Alloys and Compounds. 2002. – Vol. 330-332. – P. 676-682.
- 7 Вахрушев, А. В. Моделирование процессов аккумуляции водорода и углеводородов наноструктурами [Текст]/А. В. Вахрушев, А. М. Липанов, М. В. Суетин. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований; НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. – 120 с.