

УДК 629.70.064.56

Я.А. КУМЧЕНКО

Днепропетровский национальный университет, Днепропетровск, Украина

НЕСТАНДАРТНАЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В КОСМОСЕ НА ПРИМЕРЕ ТВЕРДОТОПЛИВНОГО ФТОРИСТОВОДОРОДНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ И ЕЕ ВЫГОДНОЕ СРАВНЕНИЕ С СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГОДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ СЭДУ В КОМПЛЕКСЕ С НОСИТЕЛЕМ ТИПА СОЮЗ-2

Показана возможность нестандартного использования твердых энергоаккумулирующих веществ на основе водорода, кислорода и галогенов в качестве топлив для космической энергетики на примере твердотопливного фтористоводородного двигателя.

твердые энергоаккумулирующие вещества, космические лучи, эффект Оже-Каштул

Постановка проблемы и ее решение

К настоящему времени традиционные пути совершенствования двигательных установок как средств межорбитальной транспортировки (СМТ) (проектно-конструкторские мероприятия, улучшение характеристик топлива, модернизация маршевых двигателей, применение новых конструктивных материалов и т. д.) практически исчерпаны. Настоятельные требования по значительному повышению технико-экономической эффективности транспортных средств обусловили повышенный интерес к нетрадиционным концепциям в двигателестроении, так как жидкостные и твердотопливные двигатели по своим удельным и энергомассовым характеристикам подошли к предельно возможной степени совершенства.

В связи с этим перспективным направлением повышения технико-экономической эффективности транспортных средств с улучшенными удельными и энергомассовыми характеристиками является применение водорода как самого легкого элемента в качестве одного из компонентов топлива двигательной установки (ДУ) КА.

Известные системы хранения и подачи водорода подразделяются на: а) газообразные, б) криогенные и в) в связанном состоянии.

Что касается систем хранения водорода в газообразном и жидком состояниях, то их как достоинства, так и недостатки хорошо известны и здесь перечисляться не будут.

Остановимся на третьем способе хранения водорода, а именно в связанном состоянии. Он, в свою очередь, подразделяется на два способа:

- 1) хранение в жидком состоянии – вода, аммиак, метанол, гидразин, перекись водорода и углеводороды (бензин);
- 2) хранение в твердом состоянии – гидриды металлов, обратимые гидриды интерметаллидов, гидрореагирующие составы, нанотрубки.

Одним из преимуществ второго способа над первым является выигрыш в массе и габаритах всего КА. Недостатком же, например, гидридов металлов является охрупчивание (набухание) металла и дороговизна процесса внедрения в него водорода.

Что же нового предлагает автор? В этой работе предлагается использовать в качестве источников водорода твердые вещества, например, углеводороды.

Например, предельные или насыщенные углеводороды имеют общую формулу (C_nH_{2n+2}) и составляют гомологический ряд, первым членом которого является метан [1] (табл. 1).

Таблица 1

Гомологический ряд насыщенных углеводородов

| Название | Молекулярная формула | Состояние | Название | Молекулярная формула | Состояние |
|----------|--------------------------------|-----------|--------------|----------------------------------|------------------|
| Метан | CH ₄ | газ | Октан | C ₈ H ₁₈ | жидкость |
| Этан | C ₂ H ₆ | >> | Нонан | C ₉ H ₂₀ | >> |
| Пропан | C ₃ H ₈ | >> | Декан | C ₁₀ H ₂₂ | >> |
| Бутан | C ₄ H ₁₀ | >> | Гексадекан | C ₁₆ H ₃₄ | твердое вещество |
| Пентан | C ₅ H ₁₂ | жидкость | Пентаэйкосан | C ₂₅ H ₅₂ | >> |
| Гексан | C ₆ H ₁₄ | >> | Триаконтан | C ₃₀ H ₆₂ | >> |
| Гептан | C ₇ H ₁₆ | >> | Гептаконтан | C ₇₀ H ₁₄₂ | >> |

Целесообразно также использовать и твердый полиэтилен – полимер этилена, гомологический ряд которого C_n H_{2n}.

Рассмотрим теперь, не освещая здесь все возможные варианты, твердые вещества, содержащие окислительные химические элементы для водорода как горючего рабочего тела ДУ КА. Такими элементами в частности могут быть кислород и галогены (фтор, бром, хлор).

Одним из твердых веществ (а их множество), содержащих кислород, можно использовать, например, кристаллический диоксид SiO₂ – кварц [1]. Это одно из самых устойчивых веществ. В кварце атомы кремния образуют подрешетку, сходную с кристаллической решеткой алмаза, атомы же кислорода располагаются между атомами кремния.

Одним же из твердых веществ (их тоже множество), содержащих галогены, является, например, природный минерал фторид кальция CaF₂ – флюорит (плавиковый шпат).

Таким образом, если из твердых энергоаккумулирующих веществ извлечь водород как горючее (Г) и кислород (или галогены) как окислитель (О), то, сжигая это топливо (О + Г) в камерах сгорания ДУ, можно получить необходимую тягу двигателя с повышенным удельным импульсом.

Процесс извлечения водорода, кислорода и гало-

генов предполагает наличие химических реакторов, которые занимают центральное место в производстве, связанном с превращением **твердых энергоаккумулирующих веществ** (ТЭАВ) и изменением их химических свойств.

Оставляя в стороне процесс извлечения горючих веществ из ТЭАВ в химических реакторах в земных условиях, рассмотрим его для условий открытого космоса для случая, например, твердотопливных водородных двигателей малых и средних тяг на конкретном примере, который, как очевидно, не является единственным.

На рис. 1. представлена блок-схема твердотопливного фтористоводородного двигателя (ТТФВД), где в качестве твердого энергоаккумулирующего вещества с водородом (ТЭАВ)_н можно применить, например, полиэтилен или парафин, а в качестве ТЭАВ, содержащего фтор (ТЭАВ)_ф пригоден фторид кальция – флюорит (плавиковый шпат) или фторопласт-4 (тефлон) (F₂C = CF₂)_н.

Для извлечения химически активных центров (ХАЦ) из ТЭАВ следует подвести к ним такое количество энергии, которое необходимо затратить на разрыв тех химических связей, которые ответственны за выход атомарных веществ рассмотренных выше химических элементов (H, O, F, Br, Cl) в качестве рабочих тел ДУ.

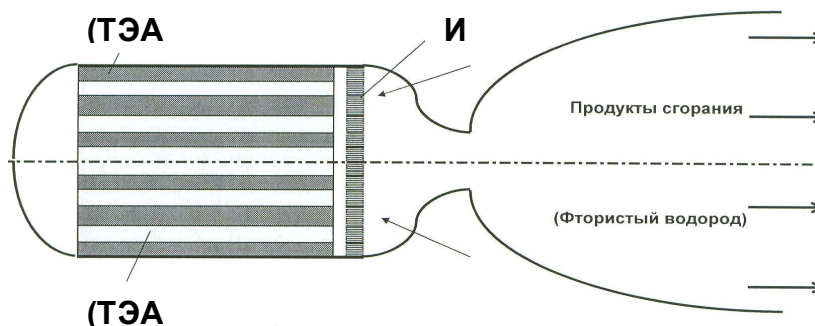


Рис. 1. Блок схема твердотопливного фтористоводородного двигателя (ТТФВД)

Для открытого космоса существует только три способа инициирования выхода атомарных ХАЦ.

1. Иницирующее устройство ИУ для использования энергии солнечных батарей в процессе электроразряда для двигателей малых тяг.

2. Использование энергии атомного реактора для двигателей средних тяг.

3. Предлагаемый автором нетрадиционный способ инициирования – использование энергии первичных космических лучей, которые генерируют с объема ТЭАВ вторичное излучение, результатом которого является выход из твердых энергоаккумулирующих веществ химически активных центров ХАЦ.

Космическими лучами называются [2] «потoki атомных ядер высокой энергии, главным образом протонов, приходящие на Землю из космического пространства, а также вторичное излучение, создаваемое этими ядрами в атмосфере Земли. Космические лучи, находящиеся за пределами земной атмосферы, называются *первичными*. В составе первичных космических лучей содержатся атомные ядра с различными массовыми числами и энергиями на один нуклон, заключенными в интервале $GэВ \leq E \leq 10^{13} эВ$.

В первичных космических лучах имеются ядра химических элементов, состав которых мало отличается от состава элементов, содержащихся в земной коре и атмосфере Солнца. Объемная плотность энергии в космических лучах составляет в среднем около $1 эВ/см^3$. Поток первичных лучей с энергией, превышающей $2,5 ГэВ/нуклон$, имеет плотность $\approx 0,14 см^2 стер^{-1} \cdot сек^{-1}$. Средняя энергия на один

нуклон примерно одинакова для всех ядер, поэтому около $1/3$ полной энергии приходится на средние и тяжелые ядра. Первичные космические лучи имеют изотропное пространственное распределение. На высотах, превышающих $50 - 60$ км, имеется постоянная интенсивность первичных космических лучей. С приближением к Земле происходит увеличение интенсивности космического излучения за счет вторичных космических лучей.

Вторичные космические лучи образуются в результате неупругих столкновений первичных лучей с ядрами атомов азота и кислорода воздуха в верхних слоях атмосферы. Ниже 20 км все космическое излучение является вторичным. Проникающая способность космических лучей измеряется толщиной d слоя свинца, сквозь которую проникают космические лучи. При толщинах d от 0 до $10 - 13$ см происходит быстрое ослабление интенсивности, а при дальнейшем увеличении толщины интенсивность практически не изменяется. В связи с этим в составе вторичных лучей различаются мягкая и жесткая компоненты. Мягкой называется часть лучей, испытывающих сильное поглощение свинцом, жесткой – компонента, обладающая в свинце большой проникающей способностью. Мягкую компоненту составляют электроны, позитроны и фотоны. Мюоны, образовавшиеся при распаде π -мезонов и слабо взаимодействующие с ядрами атомов атмосферы, образуют жесткую компоненту. Соотношение между интенсивностями мягкой и жесткой компонент сильно меняется с высотой вследствие неодинакового по-

глошения различных частиц в атмосфере, а также из-за распада нестабильных частиц.

При высокой энергии первичных частиц ($> 5,10^9$ эВ) столкновения их с атомами воздуха приводит, как правило, к образованию *электронно-ядерных ливней*. Результатом взаимодействия первичной частицы с ядрами атомов воздуха является расщепление последних на отдельные нуклоны и более крупные части, а также образование неустойчивых частиц (π^\pm - и π^0 -мезонов). Последующие распады $\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm \rightarrow e^\pm$ и $\pi^0 \rightarrow 2\gamma \rightarrow e^+ + e^-$ приводит к образованию мягкой электронно-фотонной компоненты ливня. Эта компонента затем интенсивно размножается вследствие последовательного (каскадного) образования новых пар $e^+ - e^-$ и тормозного излучения частицами новых гамма-квантов (*электронно-каскадный процесс*). Возникающие при расщеплении ядер энергичные нуклоны способны в свою очередь вызывать электронно-ядерные ливни (*ядерно-каскадный процесс*). Совокупность последовательных ядерных взаимодействий высокой энергии приводит к образованию *широких атмосферных ливней* (называемых также *ливнями Оже*). Последние при энергиях первичных частиц свыше 10^{12} эВ могут содержать многие миллионы частиц (в основном e^\pm) при поперечных размерах ливня более 1 км^2 .

Автор считает целесообразным использовать Оже-эффект как процесс инициирования рождений ХАЦ. Насколько ему известно, здесь впервые рассматривается вопрос использования процесса рождения ливней ХАЦ из объема ТЭАВ. Предлагается назвать этот процесс эффектом Оже-Каштул.

Еще более заманчива идея использования в ДУ, например, атомарно-водородного топлива. Это выгодно, поскольку при рекомбинации его в молекулярный водород выделяется $2,16 \cdot 10^8$ Дж/кг тепла, в то время как теплотворность традиционных видов топлива на целый порядок меньше. При этом удельный импульс такой ДУ составляет 1520 с при 50% полноте реакции [3].

Для оценки перспективности использования ТЭАВ в качестве источников ХАЦ на основе водорода, кислорода и галогенов с учетом эффекта Оже-Каштул приведем блок-схему солнечной электродвигательной установки (СЭДУ), работающей на криогенном водороде и кислороде с использованием энергии солнечных батарей [4] (рис. 2).

Из сравнения рис. 1 и рис. 2 специалисту по ракетно-космической технике очевидно, что применение ТЭАВ с использованием энергии первичных космических лучей, которые, согласно эффекту Оже-Каштул, инициируют рождение ХАЦ, в сотни раз эффективней применения жидких кислорода и водорода в связи с ненужностью всей «обвязки» (бак кислорода, бак водорода, компрессоры, тепловой аккумулятор и т.д., и т.п.), которая используется при СЭДУ[5].

Выводы и перспективы использования

Таким образом, в работе затрагивается сразу несколько перспективных направлений в области высокоэффективной ракетно-космической техники, а именно:

1. Применение водорода как горючего и кислорода (или галогенов) как окислителя, извлеченных из *твердых* энергоаккумулирующих веществ ТЭАВ.
2. Использование энергии космических лучей для инициирования процесса выхода химически активных центров в виде атомов водорода как горючего и атомов кислорода и группы галогенов в качестве окислителей под действием первичных космических лучей.
3. Использование энергии специального ядерного источника излучения.
4. Комбинированный способ инициирования выхода с поверхности твердотопливных энергоаккумулирующих веществ ХАЦ одновременным подводом и лучистой энергии и протеканием при этом подводе электроразряда с меньшим потреблением энергии, необходимой для его реализации.

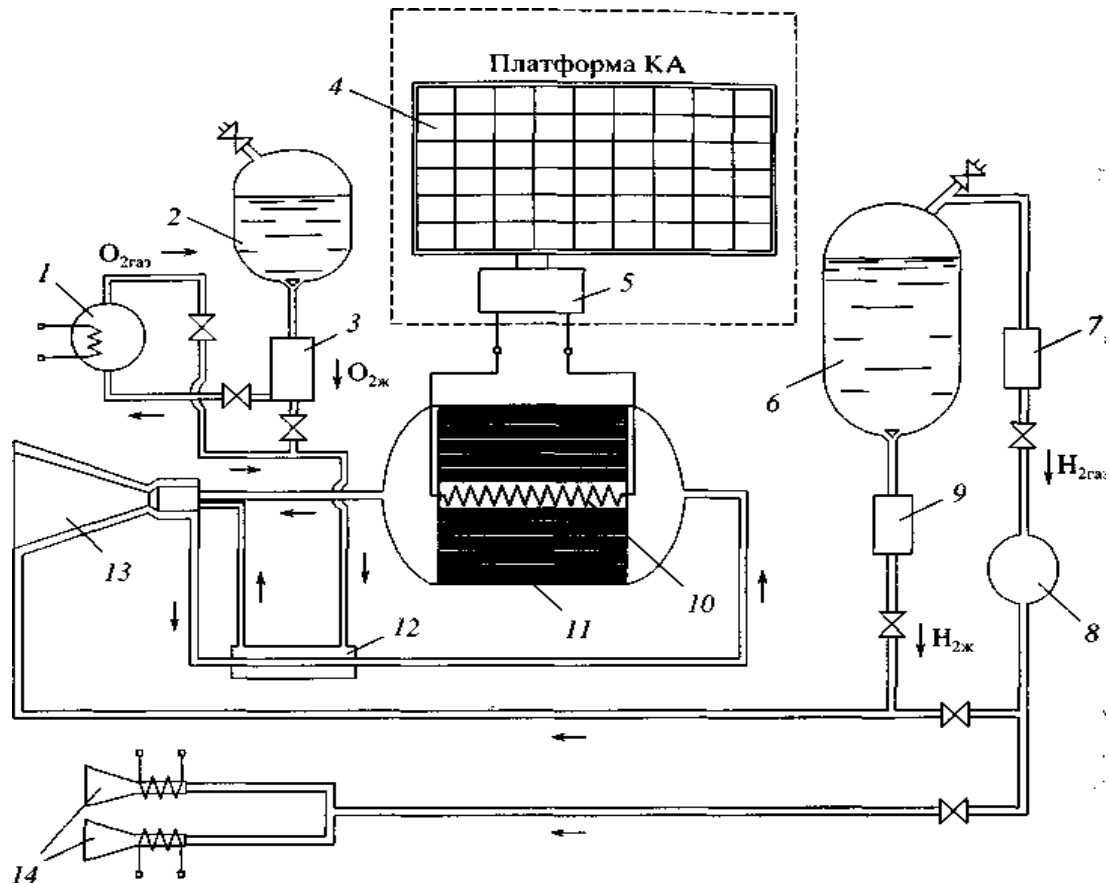


Рис. 2. Принципиальная схема СЭДУ:

1 – ресивер кислорода; 2 – бак кислорода; 3 – насос кислорода; 4 – солнечная батарея; 5 – преобразующая аппаратура; 6 – бак водорода; 7 – компрессор водорода; 8 – ресивер водорода; 9 – насос водорода; 10 – высокотемпературный электронагреватель; 11 – тепловой аккумулятор; 12 – теплообменник-газификатор кислорода; 13 – маршевый двигатель; 14 – дополнительные электронагревательные двигатели

Литература

1. Вовченко А.В. и др. Общая химия. – М.: МГУ, 1980. – С. 111 – 116.
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука, 1969. – С. 406 – 411.
3. Варшавский И.Л. Энергоаккумулирующие вещества. – К.: Наукова думка, 1980. – С. 1 – 108.
4. Коротеев А.С., Акимов В.Н. и др. Солнечные электродвигательные установки – эффективный путь развития средств межорбитальной транспортировки // Изв. РАН. Энергетика. – 2004. – № 5. – С. 56 – 51.

5. Кумченко Я.А. Высокоэффективная водородная энергетика на примере твердотопливного фтористоводородного двигателя как средства межорбитальной транспортировки космического аппарата (КА) на гелиостационарную орбиту // Вест. ДНУ: Ракетно-космическая техника. – Днепропетровск, 2004. – № 8. – С. 110 – 116.

Поступила в редакцию 3.06.2005

Рецензенты: д-р физ.-мат. наук, проф. Е.Г. Попов, Днепропетровский аграрный университет; канд. техн. наук, доцент В.И. Мисюра, Днепропетровский национальный университет, Днепропетровск.