

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_8H_{18}	жидкость
Этан	C_2H_6	>>	Нонан	C_9H_{20}	>>
Пропан	C_3H_8	>>	Декан	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	>>
Бутан	C_4H_{10}	>>	Гексадекан	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	твердое вещество
Пентан	C_5H_{12}	жидкость	Пентаэикосан	$\text{C}_{25}\text{H}_{52}$	>>
Гексан	C_6H_{14}	>>	Триаконтан	$\text{C}_{30}\text{H}_{62}$	>>
Гептан	C_7H_{16}	>>	Гептаконтан	$\text{C}_{70}\text{H}_{142}$	>>

Целесообразно также использовать и твердый полиэтилен – полимер этилена, гомологический ряд которого C_nH_{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 SiO_2 – 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 CaF_2 – 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 ($\text{O} + \text{H}$) 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 $(\text{ТЭАВ})_n$ можно применить, например, полиэтилен или парафин, а в качестве ТЭАВ, содержащего фтор $(\text{ТЭАВ})_F$ пригоден фторид кальция – флюорит (плавиковый шпат) или фторопласт-4 (тефлон) $(\text{F}_2\text{C} = \text{CF}_2)_n$.

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 (Н, О, F, Br, Cl) в качестве рабочих тел ДУ.

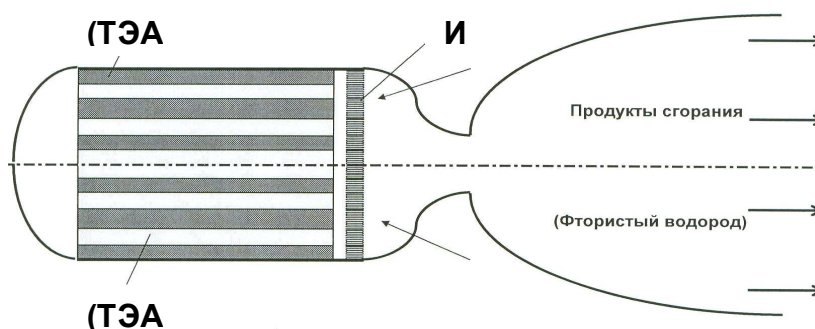


Рис. 1. Блок-схема твердотопливного фтористоводородного двигателя (ТТФВД)

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 $G\text{эВ} \leq E \leq 10^{13} \text{эВ}$.

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 1эВ/см^3 . Поток первичных лучей с энергией, превышающей $2,5 \text{ГэВ/нуклон}$, имеет плотность $\approx 0,14 \text{см}^2 \text{стер}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1}$. 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 ($\pi^\pm$ - 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 ненадобностью 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.

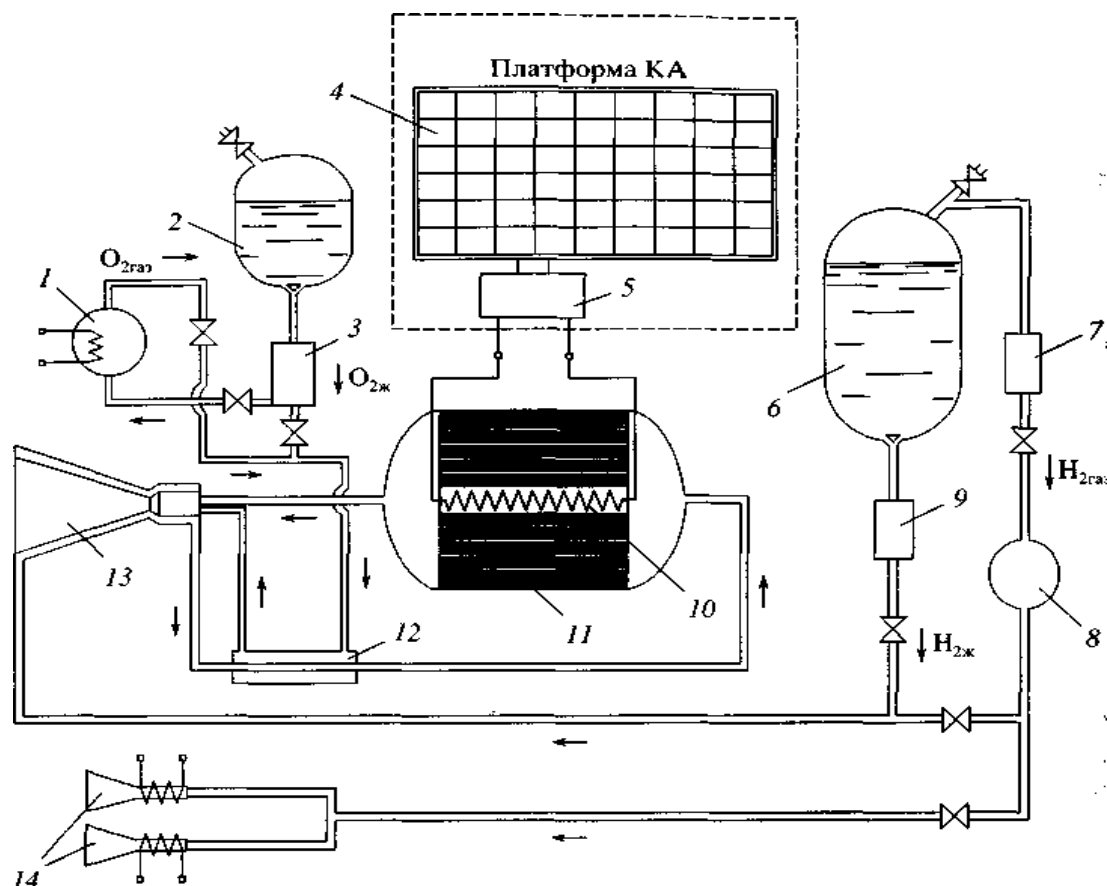


Рис. 2. Принципиальная схема СЭДУ:

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.