

03;15

## **Применение конверсии углеводородного топлива в силовых установках летательных аппаратов**

© А.Л. Куранов, А.В. Корабельников, А.М. Михайлов

Научно-исследовательское предприятие гиперзвуковых систем,  
Санкт-Петербург  
E-mail: mail@hypersonics.ru

Поступило в Редакцию 22 августа 2013 г.

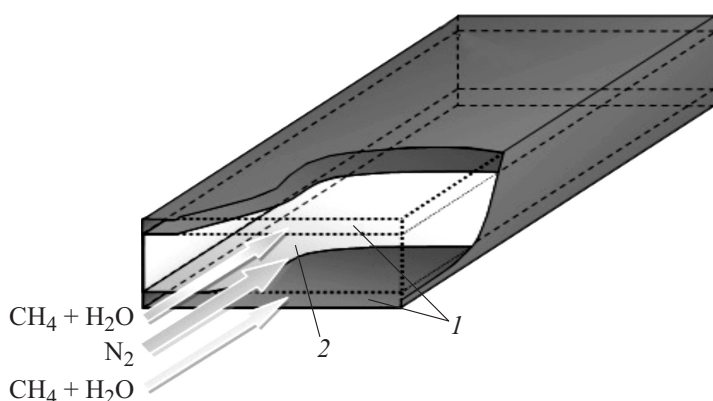
Кратко рассмотрены вопросы применения конверсии углеводородного топлива для охлаждения теплонапряженных частей высокоскоростных летательных аппаратов. Описана установка для испытания термохимического реактора как элемента теплозащиты и представлены результаты экспериментов по конверсии метана при изменении типа катализатора, расхода химически реагирующей смеси и температуры нагреваемой стенки реактора.

В последнее десятилетие в ведущих странах мира при проведении исследований в области новых видов авиационно-космической техники большое внимание уделяется разработке ключевых технологий создания гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА) с числом Маха полета  $M = 6-8$  [1].

Чтобы ГЛА удовлетворяли предъявляемым к ним требованиям, разрабатываемые для них силовые установки должны обладать высокими тягово-экономическими характеристиками при относительно малой массе конструкции. В качестве основных силовых установок на современном этапе рассматриваются гиперзвуковые прямоточные воздушно-реактивные двигатели (ГПВРД) со сверхзвуковой скоростью потока в камере сгорания, имеющие наибольшее значение удельного импульса в требуемом диапазоне скоростей.

Применение конверсии жидких углеводородных топлив для охлаждения теплонапряженных частей высокоскоростных летательных аппаратов и организации устойчивого горения в сверхзвуковом потоке воздуха рассматриваются специалистами с 60-х годов прошлого века [2,3].

Недавний полет американского ГЛА X-51 наглядно продемонстрировал реализуемость идеи создания ГПВРД на углеводородном топли-

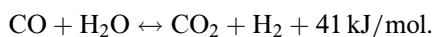
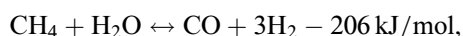


**Рис. 1.** Схема термохимического реактора: 1 — каналы ТХР; 2 — центральный канал.

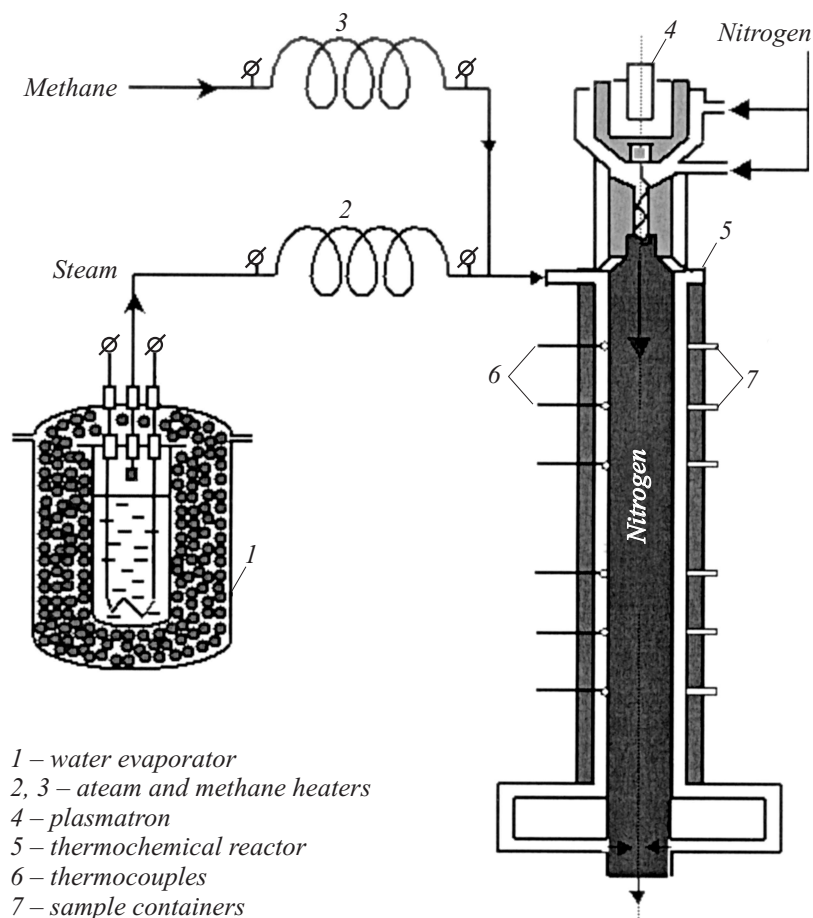
ве [4]. Активная теплозащита двигателя X-51 осуществлялась путем проведения в рубашке охлаждения реакции крекинга топлива JP-7, продукты которого направлялись затем в камеру сгорания.

Наряду с реакцией крекинга углеводородного топлива возможным кандидатом на проведение эндотермического процесса охлаждения на борту ГЛА является паровая конверсия. Эта каталитическая реакция превосходит крекинг по величине эндоэффекта и выходу водорода [5], что дает возможность в конечном итоге увеличить число Маха полета и обеспечить стабильное горение топлива в двигателе.

В данной работе в качестве углеводорода использовался метан как основной компонент газификации жидкого углеводородного топлива. Кроме того, использование метана в реакции паровой конверсии позволяет оценить предельные возможности термохимического реактора (ТХР) как элемента теплозащиты по величине утилизируемого тепла и количеству получаемого водорода. Равновесный состав паровой конверсии метана определяется двумя обратимыми реакциями:

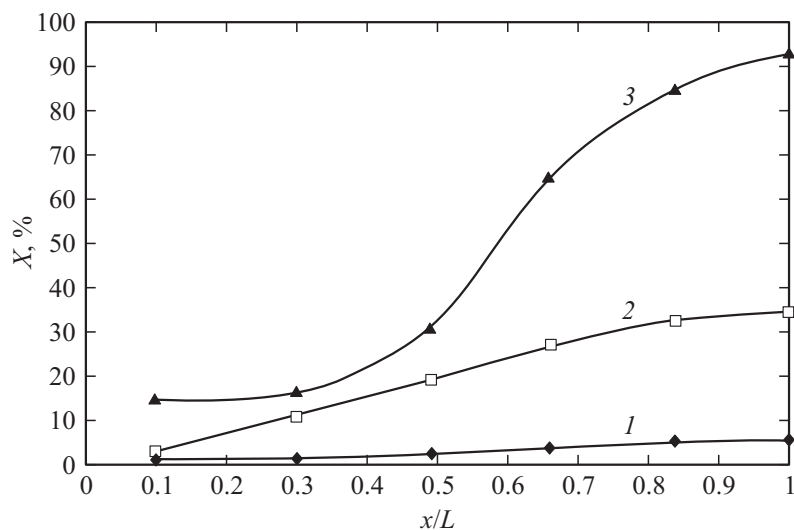


Термохимический реактор (рис. 1) состоял из двух каналов 1 длиной 590 mm, шириной 60 mm и высотой 4 mm, образующих рубашку



**Рис. 2.** Схема установки для испытания термохимического реактора.

охлаждения центрального канала 2, по которому проходит струя плазмы, нагревающая внутренние стенки реактора. Материал реактора — жаропрочная сталь ХН78Т. Принципиальная схема установки для испытания ТХР представлена на рис. 2. Вода превращалась в пар в испарителе 1. Нагрев пара и метана из баллона осуществлялся в электронагревателях 2 и 3 соответственно. Затем реагенты смешивались



**Рис. 3.** Изменение степени конверсии метана по длине реактора: 1 —  $G = 0.7$  g/s, гладкая стенка; 2 —  $G = 0.2$  g/s, гладкая стенка; 3 —  $G = 0.7$  g/s, каркасный катализатор.

и при температуре около  $500^{\circ}\text{C}$  подавались в реактор 4, источником нагрева стенок которого служит струя плазмотрона 5. Температура внутренних стенок ТХР измерялась термопарами 6. Пробы для анализа состава продуктов реакции отбирались с помощью пробоотборников 7.

Первая серия экспериментов была проведена в реакторе с гладкими стенками, имеющими естественную каталитическую активность. При расходе парометановой смеси  $G = 0.7$  g/s и температуре внутренних стенок реактора  $T_w = 1050^{\circ}\text{C}$  степень конверсии метана  $X$  не превысила 6% (рис. 3). Уменьшение расхода смеси до 0.2 g/s привело к росту степени конверсии до 37% вследствие увеличения времени пребывания реагентов в реакторе. Однако качественное изменение ситуации произошло в серии экспериментов с каркасным никелевым катализатором в виде спрессованной проволоки, заполнившей объем реактора и имеющей хороший тепловой контакт с его стенками. В этом случае при расходе  $G = 0.7$  g/s степень конверсии метана возросла до 92%. Выход водорода при  $T_w = 1050^{\circ}\text{C}$  составил 40% по объему,

а при  $T_w = 1250^\circ\text{C}$  увеличился до 65%. Таким образом, определены основные факторы, влияющие на степень конверсии углеводородного топлива в ТХР: тип катализатора, расход химически реагирующей смеси и температура нагреваемой стенки.

Представленные результаты экспериментов по конверсии метана проведены при умеренных плотностях тепловых потоков  $q \leq 10^5 \text{ W/m}^2$ . В дальнейшем планируется увеличить тепловое нагружение до  $10^6 \text{ W/m}^2$  и более.

Авторы выражают признательность сотрудникам РНЦ „Прикладная химия“, участвовавшим в проведении экспериментов.

## Список литературы

- [1] Бальмина Р.В., Губанов А.А., Иванкин М.А., Латинский Д.А. // Новости зарубежной науки и техники. Сер. Авиационная и ракетная техники. М.: ЦАГИ, 2012. В. 1–2 (1821–1822). С. 1.
- [2] Lander H., Nixon A. AIAA 68–997. 1968. P. 1–12.
- [3] Maurice L., Edwards T. // Progress in Astronautics and Aeronautics. 2000. V. 189. P. 757–822.
- [4] X-51A Waverider achieves breakthrough in final flight — URL: [www.af.mil/news/story.asp?id=123346970](http://www.af.mil/news/story.asp?id=123346970), дата обращения 03.05.2013.
- [5] Куранов А.Л., Корабельников А.В. // Полет. 2000. № 6. С. 8–15.