

УДК 661.961.62

**КОНСТРУКЦИЯ МНОГОХОДОВОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО РЕАКТОРА**

*В. Д. Аникина*

*Научный руководитель – ст. преподаватель Савченко Г.Б.*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

На сегодняшний день все более широкое применение находят такие источники электрической энергии, как топливные элементы на водороде. В авиации водород-воздушные топливные элементы уже применяются на ряде беспилотных летательных аппаратов (ЛА), малоразмерных самолетов и на различных конфигурациях мультикоптеров. [1,2]

Использование новых моделей водород-воздушных топливных элементов позволяет значительно увеличить время непрерывного полета ЛА, а также применять их в разнообразных климатических условиях, в том числе – на крайнем севере, без снижения эффективности. Одна из проблем использования таких ЛА – отсутствие развитой инфраструктуры производства, хранения и поставки водорода потребителям, находящимся в областях, отдаленных от промышленных центров. Для обслуживания ЛА в такой местности в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова была разработана принципиальная схема и конструктивные узлы для малоразмерной установки получения водорода [3]. Продуктовый водород пригоден для топливных элементов, а установка является базовой системой для создания мобильного заправочного комплекса ЛА. Далее была поставлена цель совершенствования разработанных узлов, а среди основных задач выделено снижение массы и габаритов технологического оборудования [4].

Установка базируется на технологии получения водорода методом парциального окисления углеводородов с последующей паровой каталитической конверсией монооксида углерода. Основным узлом установки является трехкомпонентный (горючее, окислитель и вода) высокотемпературный реактор (ВТР). Он представляет собой охлаждаемую конструкцию, состоящую из последовательно установленных блоков – камеры сгорания (КС) и испарительной камеры (ИК). Назначение ВТР такого типа – получение смеси синтез-газа (СО, Н<sub>2</sub> и балластные газы) с парами воды при заданном составе и температуре. Главным недостатком разработанных на сегодняшний день конструкций ВТР является их большая длина [5]. Она используется, в основном, с целью обеспечения достаточного времени пребывания смеси для завершения протекающих химических превращений (основная реакция – парциальное окисление углеводородного сырья). Однако большая длина создает трудности при размещении оборудования и подводе коммуникаций к узлам ВТР.

Для решения данной проблемы была предложена конструкция многоходового ВТР, являющегося развитием известной конструкции по патенту RU №2521377 С2, представленной на рисунке 1.

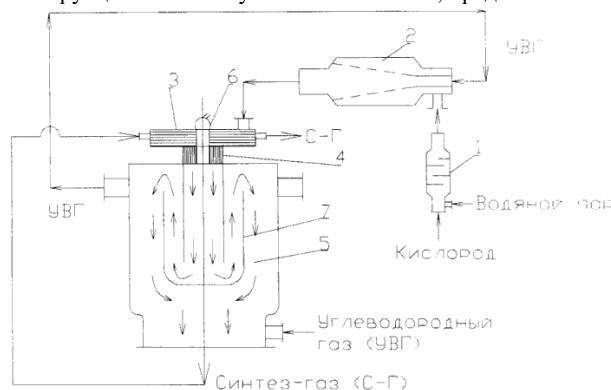


Рис. 1. Конструкция многоходовой КС по патенту RU №2521377 С2

Принципиальная схема предлагаемой конструкции в двухходовом варианте представлена на рисунке 2 [6].

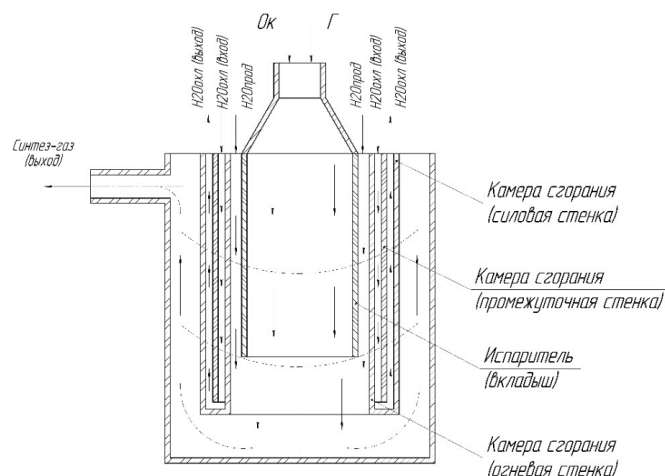


Рис. 2. Схема конструкции двухходового ВТР

Особенность данной многоходовой конструкции реактора заключается в интеграции камеры сгорания и испарительной камеры ВТР в пространственно-совмещенный узел, что позволяет значительно уменьшить суммарную длину реактора.

Протекающие в таком ВТР процессы несколько отличаются от процессов в традиционных конструкциях. В центральном объеме КС происходит парциальное окисление углеводородного горючего (горение при недостатке окислителя), в результате чего образуется синтез-газ. Одновременно в пространство за стенкой вкладыша-испарителя подается жидкофазная вода. В процессе движения воды по тракту она испаряется за счет поступающего из зоны горения тепла. При этом течение, начиная с определенного момента, будет двухфазным: пар – около горячей стенки и жидкая вода – около холодной. Разделение фаз также можно усилить приданием каналу испарителя спиральной формы (фрезерованием на одной из стенок или напайванием проволоки).

Вкладыш испарителя заканчивается несколько раньше, чем зона горения в центральной части КС. Это сделано для того, чтобы снизить количество образующейся в ВТР К-фазы, первую очередь – частиц сажи. Основная зона сажеобразования расположена в пристенке, так как температура там ниже, чем в центральной части реактора. Подача пара в эту зону приводит к началу реакции водяного газа, снижающей содержание сажи в получаемой смеси газов.

Жидкофазная часть подаваемой воды образует пленку в пристеночном пространстве, защищая стенку от прогара, и постепенно испаряется за счет теплообмена с горячими продуктами сгорания. При дальнейшем продвижении пленки на границе первого и второго ходов КС происходит разбрызгивание и дробление пленки, благодаря чему доиспарение остатков воды происходит достаточно быстро.

Протекание описанных процессов предполагается в установке со следующими параметрами [3]:

- Давление в КС: 2,2 Мпа;
- Температура в КС: 2200 К;
- Массовые расходы компонентов: горючего – 2 г/с, окислителя – 3 г/с (действительное массовое соотношение компонентов составляет 1,5);
- Выход водорода (массовый) в единицу времени: 0,5 г/с.

Установка с данными параметрами выступала базовой для анализа конструкции и возможных вариантов модернизации узлов.

Таким образом, в предлагаемой многоходовой конструкции ВТР первый ход – КС, второй – ИК. Наличие вкладыша-испарителя в КС дает ряд новых преимуществ:

- Создает дополнительную защиту стенок от перегрева и прогара;
- Позволяет снизить требования к системе охлаждения (как следствие предыдущего пункта);
- Значительно уменьшает суммарную длину ВТР.

На данный момент поставлена задача разработки математической модели для проведения расчетов внутрикамерных процессов и последующего проектирования конструкции многоходовых ВТР, с количеством ходов два и более.

### Библиографический список

1. Ализар Анатолий Российский октакоптер на водороде установил мировой рекорд по длительности полета: 3 часа 10 минут [Электронный ресурс] / Анатолий Ализар // Geektimes; URL: <https://geektimes.ru/post/274755/> (дата обращения: 31.03.2018) – 22.04.2016.
2. Полов Марк Первый водородный [Текст] / Марк Полов // Облако; М: - 2017, №2 (03); - 22с.
3. Аникина В.Д. Разработка высокотемпературного реактора в составе заправочного комплекса для обеспечения работы беспилотных летательных аппаратов. / В.Д. Аникина // ВКР; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2017. – 75с.
4. Аникина В.Д., Савченко Г.Б. Алгоритм проектирования установки получения водородсодержащего газа, как топлива летательных аппаратов. // Материалы X Всеросс. студ.науч.-технич. школы-семинара «Аэрокосмическая декада», М.: «Доброе слово», - 2017.
5. Патент №2523824 РФ С01В 3/32 В01J 19/26 Устройство для получения синтез-газа / Филимонов Ю.Н., Анискевич Ю.В. и др., патентообладатель ООО «ВТР» - заявл. № 2012130048/05, 06.07.2012, опубл. 27.07.2014, бюл. № 21.
6. Аникина В.Д., Савченко Г.Б. Результаты анализа алгоритма проектирования установки получения водородсодержащего газа для топливных элементов. // Материалы III Общероссийской МНТК «Старт-2017» / Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2017.

УДК 62-1/9

### ПЛАЗМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ VASIMR

*Е. М. Афанасьева, В. М. Романов, М. М. Соловейчик, Г. Е. Чернов*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова*

В зависимости от способа преобразования электрической энергии в кинетическую энергию реактивной струи различают электротермические, ионные и плазменные электрические ракетные двигатели.

Принцип работы ионного двигателя основан на создании реактивной тяги на базе ионизированного газа, разогнанного до высоких скоростей в электрическом поле. Рабочим телом обычно является ионизированный инертный газ (аргон, ксенон и т. п.). При этом, благодаря высокому отношению заряда к массе, становится возможным разогнать ионы до очень высоких скоростей (вплоть до 210 км/с по сравнению с 3—4,5 км/с у химических ракетных двигателей). Таким образом, в ионном двигателе можно достичь очень большого удельного импульса. Это позволяет значительно уменьшить расход реактивной массы ионизированного газа по сравнению с расходом реактивной массы в химических ракетах, но требует больших затрат энергии. В существующих реализациях ионного двигателя в качестве источника энергии используются солнечные батареи. Достоинством этого типа двигателей является малый расход топлива и продолжительное время функционирования (максимальный срок непрерывной работы самых современных образцов ионных двигателей составляет более трёх лет). Недостаток двигателя — очень слабая тяга, оттого нет возможности использовать ионный двигатель для старта с планеты, но, с другой стороны, в условиях невесомости, при достаточно долгой работе двигателя, есть возможность разогнать космический аппарат до скоростей, недоступных сейчас никаким другим из существующих видов двигателей. Сфера применения ионных двигателей: управление ориентацией и положением на орбите искусственных спутников Земли (некоторые спутники оснащены десятками маломощных ионных двигателей) и использование в качестве главного тягового двигателя небольших автоматических космических станций. Так же в настоящее время наиболее широкое распространение плазменных двигателей — в качестве двигателей для поддержания точек стояния геостационарных спутников связи.

Плазменные двигатели различной конструкции строились и тестировались, начиная с 60-х годов, однако на начало 21 века существует лишь один проект плазменного двигателя - VASIMR, который реализуется на коммерческой основе. Этот двигатель пока что прошел лишь стендовые испытания и является намного производительнее своих предшественников. Другие типы плазменных двигателей, в частности СПД и ДАС (двигатели с анодным слоем - наличие анода приводит к возникновению пространственных неоднородностей плазмы, оказывает сильное возмущающее действие на прилегающую к нему область разряда, связанное с появлением аксиальных градиентов в протяженной области квазинейтральной плазмы, вызванных дополнительными стоками заряженных частиц на анод,