

УДК 621.453

## РАССМОТРЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ВЕРНЬЕРНОГО ЭЛЕКТРОРАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

© 2014 Б.Е. Байгалиев, А.В. Черноглазова, Е.А. Тумаков, С.В. Темникова

Казанский национальный исследовательский технический университет  
имени А.Н.Туполева – КАИ

Рассматривается возможность создания верньерного электроракетного двигателя. Предлагаемый двигатель будет работать по следующей схеме: рабочее тело (жидкость) подаётся через пористую вставку в камеру сгорания с помощью шестерёнчатого насоса. При течении жидкости через пористую вставку жидкость принимает температуру этой вставки и может её превысить при определённых условиях. Одним из этих условия является пористость вставки меньше 0,05. Процесс будет протекать в два этапа. На первом этапе жидкость превращается в пар, который затем нагревается до температуры пористой вставки и может превысить её. В качестве пористой вставки можно использовать пористые материалы, изготовленные из металла, имеющего температуру плавления от температуры плавления меди до температуры плавления вольфрама. На втором этапе энергия, полученная на первом этапе, высвобождается в сопловом аппарате для создания тяги. Подвод энергии на превращение жидкости в пар и его перегрев осуществляется установкой токов высокой частоты (ТВЧ), коэффициент полезного действия (КПД) которых достигает 95%. Таким образом, в камере сгорания рабочее тело имеет температуру, необходимую для обеспечения требуемых параметров ракетного двигателя.

*Ракетный двигатель, рабочее тело, установка ТВЧ, нагревательный элемент ТВЧ, пориновой насос, пористое тело.*

Особенностью верньерных двигателей является малый расход рабочего тела, в роли которого выступает газ под высоким давлением.

В электрических ракетных двигателях (ЭРД) в качестве источника энергии для создания тяги используется электричество.

Известен [1] реактивный двигатель летательных аппаратов, который включает подачу в камеру сгорания газообразного рабочего тела, нагрев за счёт лазерного излучения и истечение высокотемпературных продуктов сгорания из сопла, которое создаёт реактивную тягу. Существенным недостатком описанного ракетного двигателя является низкое значение КПД передачи энергии от лазерного источника к рабочему телу (не более 20%).

Рабочее тело (жидкость) подаётся через пористую вставку (скелет) в камеру сгорания с помощью шестерёнчатого насоса. При течении жидкости через пористую вставку жидкость принимает температуру этой вставки и может её превысить при определённых условиях. Одним из этих условий является

пористость вставки меньше 0,05. [2]. Процесс будет протекать в два этапа. На первом этапе жидкость превращается в пар, который затем нагревается до температуры пористой вставки и может превысить её. В качестве пористой вставки можно использовать пористые материалы, изготовленные из металла, имеющего температуру плавления от температуры плавления меди до температуры плавления вольфрама. Подвод энергии на превращение жидкости в пар и его перегрев осуществляется установкой ТВЧ. КПД этих установок достигает 95%.

В качестве теплоносителя желательно применение неагрессивной и нетоксичной жидкости. К пористой вставке необходимо подводить тепла столько, чтобы проходящий через неё теплоноситель не позволял этой вставке расплавиться [2]. На выходе из пористой вставки температура теплоносителя может значительно превышать температуру плавления этой вставки, причём сама вставка будет оставаться целой.

Таким образом, в камере сгорания рабочее тело имеет температуру, необхо-

димую для обеспечения требуемых параметров ракетного двигателя.

Энергия подводится к пористой вставке, нагрев теплоносителя осуществляется за счёт передачи тепла от пористой вставки к теплоносителю. Нагрев осуществляется в зависимости от температуры плавления пористой вставки.

Ракетный двигатель (рис.1) содержит блок управления 1, нагревательный элемент ТВЧ 2, пористое тело 3, насос 4, резервуар 5, индуктор 6 (рис.2).

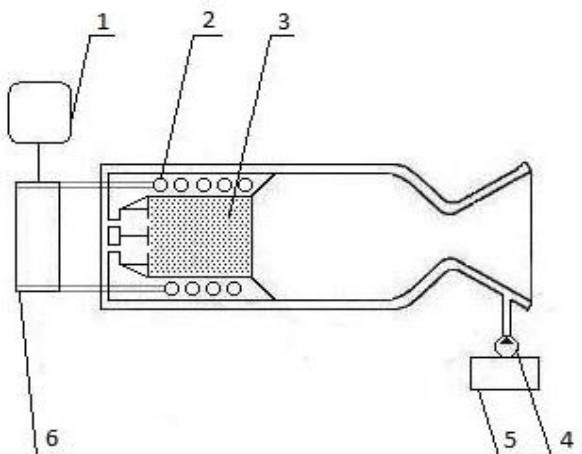


Рис.1. Схема предлагаемого двигателя: 1 - блок управления, 2 - нагревательный элемент ТВЧ, 3 - пористое тело, 4 - насос, 5 - резервуар, 6 - индуктор

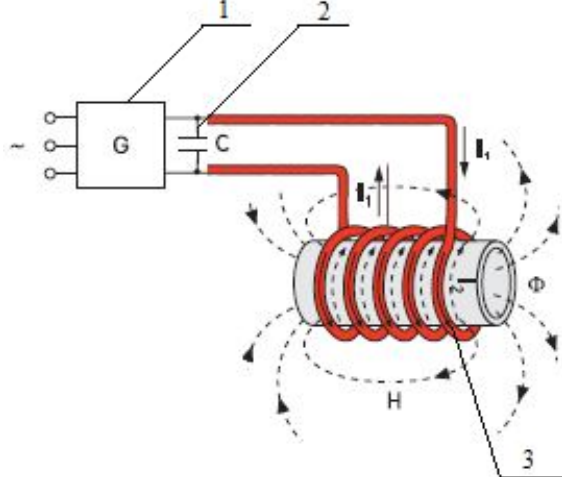


Рис.2. Схема индуктора: 1 - генератор индукционного нагревателя (переменного тока), 2 - конденсатор, 3 - катушка индуктивности

Получено дифференциальное уравнение течения газа через пористую вставку с учётом вязкостной диссипации. Результаты решения данного уравнения показали, что при уменьшении порис-

тости вставки до 0,02 при неизменной пористости и увеличении расхода (от 1 до 5 кг/(м<sup>2</sup>·с)), температура вставки повышается. При пористости вставки выше 0,20 влияние вязкостной диссипации отсутствует.

Получены решения для температурного состояния следующих веществ: Н<sub>2</sub>О, Н<sub>2</sub>, О<sub>2</sub>, Не, N<sub>2</sub>, воздух; продукты сгорания при пористостях: 0,02; 0,05; 0,20 и расходах: 1, 2, 3, 4, 5 кг/(м<sup>2</sup>·с). Исходные данные для решения уравнения:  $\lambda=121,4$  Вт/(м·К),  $\Pi=0,02; 0,05; 0,2$ ;  $\lambda_c = \lambda(1-\Pi)$ ;  $t''=600^\circ\text{C}$ ,  $C_{po}^{\text{водород}}=14300$  Дж/(кг·К);  $C_{po}^{\text{кислород}}=980$  Дж/(кг·К),  $G_0=(1, 2, 3, 4, 5)$  кг/(м<sup>2</sup>·с),  $\delta=0,01$  м;  $\alpha_0=10^4$  Вт/м<sup>2</sup>·К;  $\alpha_r=10^4$  Вт/м<sup>2</sup>·К;  $\alpha_v=10^6$  Вт/м<sup>3</sup>·К. Считаем, что эти величины постоянны и не зависят от температуры.

При  $\Pi=0,02$  заметно резкое увеличение температуры скелета к его наружной поверхности, отличие от  $\Pi=0,05$  составляет для кислорода 6 раз, для водорода 30%, для воздуха 41,02%, гелия 32,36%, для продуктов сгорания 40,42%.

При увеличении расхода от 1 до 5 кг/(м<sup>2</sup>·с) при  $\Pi=0,05$  на выходе из пластины продукты сгорания, азот и кислород повышают температуру на 16,68%; 21,28 % и 23,14% соответственно, а водород, метан и гелий уменьшают температуру на 4,36%; 6,37% и 7,38% соответственно.

В табл. 1 представлено влияние вязкостной диссипации при продувке теплоносителей через пористую вставку на их относительную избыточную температуру (в процентном соотношении) при расходе теплоносителей  $G_0 = 1$  кг/(м<sup>2</sup>·с).

Таблица 1 - Влияние вязкостной диссипации

	$\Pi=0,02$	$\Pi=0,05$	$\Pi=0,10$	$\Pi=0,15$
Водород	31,192%	1,144%	0,727%	0,151%
Гелии	50,293%	2,347%	0,151%	0,144%
Азот	78,129%	7,069%	0,465%	0,031%
Продукты сгорания	71,227%	5,137%	0,334%	0,092%
Воздух	71,143%	6,744%	0,443%	0,066%
Кислород	78,891%	7,356%	0,485%	0,965%

### Выводы

Температура пористой стенки возрастает по сравнению с температурой, определенной без учёта подогрева скелета, за счёт вязкостного трения охладителя. С ростом пористости выше 0,20 влияние вязкостной диссипации отсутствует.

При пористости  $\Pi = 0,05$  с увеличением расхода значение температуры с учётом диссипации существенно возрастает по сравнению со значениями без учёта диссипации.

При пористости  $\Pi = 0,2$  и более обе модели (с учётом и без учёта диссипации) дают одинаковый результат.

Таким образом, при значениях пористости от  $\Pi=0,02$  до  $\Pi=0,2$  увеличение расхода приводит к росту температуры скелета в зависимости от расхода, то есть увеличение расхода может повысить температуру на выходе из пористого тела.

При пористости  $\Pi = 0,05$  с увеличением расхода значение температуры с учётом диссипации существенно возрастает по сравнению со значениями без учёта диссипации.

### Библиографический список

1. Мухачев Г.А., Щукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 1991. 472 с.
2. Байгалиев Б.Е. Температурное состояние пористой пластины с учётом вязкостной диссипации // Труды Пятой Российской Национальной Конференции по Теплообмену (РНКТ-5). Т. 7. М.: МЭИ, 2010. С. 45-48.

### Информация об авторах

**Байгалиев Борис Ергазович**, доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и энергетического машиностроения, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ. E-mail: [baigaliev@rambler.ru](mailto:baigaliev@rambler.ru). Область научных интересов: теплофизика, тепловые двигатели.

**Тумаков Евгений Алексеевич**, аспирант кафедры теплотехники и энергетического машиностроения, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ. E-mail: [tumakov\\_ag@atommash.ru](mailto:tumakov_ag@atommash.ru). Область научных интересов: теплофизика, тепловые двигатели, теплофизика.

**Черноглазова Алевтина Валентиновна**, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения, сварки и производственной безопасности, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ. E-mail: [alevtinac@mail.ru](mailto:alevtinac@mail.ru). Область научных интересов: теплофизика, тепловые двигатели, теплофизика.

**Темникова Светлана Владимировна**, кандидат технических наук, доцент кафедры общей математики, Луганский национальный университет имени Т. Шевченко. E-mail: [ana.svet55@yandex.ru](mailto:ana.svet55@yandex.ru). Область научных интересов: теплофизика, тепловые двигатели, теплофизика.

## EXAMINATION OF THE THEORETICAL POSSIBILITY OF CREATING A VERNIER ELECTROROCKET ENGINE

© 2014 B.E. Baigaliev, A.V. Chernoglazova, E.A. Tumakov, S.V. Temnikova

Kazan State Technical University named after A.N. Tupolev – KAI

The report examines the possibility of creating a vernier electric rocket engine. All engines feature high-temperature combustion products from the engine nozzle that will be vented to the outside. The proposed motor will operate as follows: the working fluid (liquid) is supply through the porous insert into the combustion

chamber via a gear pump. In fluid flow through porous insert, the liquid takes the temperature of the insert and may exceed it under certain conditions. These conditions are low porosity inserts (less than 0.05). The process will proceed in two stages. The first stage liquid is converted to steam, which is then heated to a temperature of the porous insert, and may exceed it as a porous insert can be used the porous materials made of a metal having a melting point from the melting point to the melting point of copper tungsten. In the second stage, the energy obtained in the first step is liberate in the nozzle apparatus for producing thrust. The energy input to the transformation from liquid to vapor and overheating by setting HDTV. Efficiency of these plants is 95%. Thus, the combustion chamber working fluid is at a temperature necessary to achieve the desired parameters of the rocket engine.

*A rocket engine, the working fluid, the installation of HFC, heating element of HFC, pump piston, the porous body.*

### References

1. Myhachev G.A., Shchukin V.K. *vjazkostnoj dissipacii // Trudy Pyatoy Rossiyskoy Natsional'noy Konferentsii po Teploobmenu (RNKT-5). T. 7. Moscow: MPEI Publ., 2010. P. 45-48. (In Russ.)*  
Termodinamika i teploperedacha [Thermodynamics and Heat Transfer]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1991. 472 p.
2. Baygaliev B.E. *Temperaturnoe sostojanie poristoj plastiny s uchjotom*

### About the authors

**Baygaliev Boris Ergazovich**, Doctor of Science (Engineering), Professor, Department of Thermal Engineering and Energy Engineering, Kazan State Technical University named after A.N. Tupolev – KAI. E-mail: [baigaliev@rambler.ru](mailto:baigaliev@rambler.ru). Area of Research: thermal physics, heat engines.

**Cheroglazova Alevtina Valentinovna**, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of chair of materials, welding and industrial safety, Kazan State Technical University named after A.N. Tupolev – KAI. E-mail: [alevtinac@mail.ru](mailto:alevtinac@mail.ru). Area of Research: thermal physics, heat engines.

**Tumakov Evgeniy Alekseevich**, postgraduate student of Thermal Engineering and Energy Engineering department, Kazan State Technical University named after A.N. Tupolev – KAI. E-mail: [tumakov\\_ag@atommash.ru](mailto:tumakov_ag@atommash.ru). Area of Research: thermal physics, heat engines, thermal physics.

**Temnikova Svetlana Vladimirovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of General Mathematics, Luhansk National University named after Taras Shevchenko. E-mail: [ana.svet55@yandex.ru](mailto:ana.svet55@yandex.ru). Area of Research: thermal physics, heat engines, thermal physics.