

ОГНЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С НЕПРЕРЫВНО-ДЕТОНАЦИОННЫМ ГОРЕНИЕМ ТОПЛИВНОЙ ПАРЫ «ПРИРОДНЫЙ ГАЗ – КИСЛОРОД»*

С. М. Фролов¹, В. С. Аксёнов², В. С. Иванов³, С. Н. Медведев⁴, И. О. Шамшин⁵,
Н. Н. Яковлев⁶, И. И. Костенко⁷

Аннотация: На демонстрационном образце ракетного двигателя нового типа — детонационного ракетного двигателя (ДРД) — работающем на топливной паре «природный газ (ПГ) – кислород», впервые экспериментально получен высокий удельный импульс тяги на земле (270 с) при низком среднем давлении в камере сгорания (32 атм). Сравнение этих показателей с известным жидкостным ракетным двигателем РД 170-А отечественного производства, работающим на дефлаграционном горении топливной пары «керосин–кислород» (263 с и 61 атм), показывает, что в ДРД близкий по значению удельный импульс тяги на земле получен при вдвое меньшем давлении в камере сгорания. Это свидетельствует о более высокой энергоэффективности детонационного горения по сравнению с дефлаграционным горением, а также о возможности улучшения массогабаритных характеристик турбонасосного агрегата в ДРД.

Ключевые слова: детонационный ракетный двигатель; природный газ; кислород; огневые испытания; тяга; удельный импульс

Литература

1. Белов Е. А., Богушев В. Ю., Клепиков И. А., Смирнов А. М. Результаты экспериментальных работ в НПО Энергомаш по освоению метана как компонента топлива для ЖРД // Тр. НПО им. академика В. П. Глушко. — М.: НПО Энергомаш им. академика В. П. Глушко, 2000. № 18. С. 86–89.
2. Зельдович Я. Б. К вопросу об энергетическом использовании детонационного горения // ЖТФ, 1940. Т. 10. № 17. С. 1455–1461.
3. Фролов С. М., Барыкин А. Е., Борисов А. А. Термодинамический цикл с детонационным сжиганием топлива // Хим. физика, 2004. Т. 23. № 3. С. 17–25.
4. Чванов В. К., Фролов С. М., Стернин Л. Е. Жидкостный детонационный ракетный двигатель // Тр. НПО им. академика В. П. Глушко. — М.: НПО Энергомаш им. академика В. П. Глушко, 2012. № 29. С. 4–14.
5. Фролов С. М., Аксёнов В. С., Гусев П. А., Иванов В. С., Медведев С. Н., Шамшин И. О. Экспериментальное доказательство энергоэффективности термодинамического цикла Зельдовича // Докл. РАН, 2014. Т. 459. № 6. С. 711–716.
6. Frolov S. M., Aksenov V. S., Ivanov V. S. Experimental proof of Zel'dovich cycle efficiency gain over cycle with constant pressure combustion for hydrogen/oxygen fuel mixture // Int. J. Hydrogen Energ., 2015. Vol. 40. No. 21. P. 6970–6975.
7. Фролов С. М., Аксёнов В. С., Дубровский А. В., Иванов В. С., Шамшин И. О. Энергоэффективность непрерывно-детонационных камер сгорания // Физика горения и взрыва, 2015. Т. 51. № 2. С. 102–117.
8. Быковский Ф. А., Ждан С. А. Непрерывная спиновая детонация. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 423 с.
9. Kindracki J., Wolanski P., Gut Z. Experimental research on the rotating detonation in gaseous fuels – oxygen mix-

*Работа частично выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по государственному контракту № 14.609.21.0002 (идентификатор контракта RFMEFI60914X0002), а также за счет субсидии, выделенной ИХФ РАН на выполнение государственного задания по теме 44.8 «Фундаментальные исследования процессов превращения энергоёмких материалов и разработка научных основ управления этими процессами» (номер регистрации 0082-2016-0011) в 2017 г.

¹Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской Академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»; Некоммерческое партнерство «Центр импульсно-детонационного горения», smfrol@chph.ras.ru

²Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской Академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»; Некоммерческое партнерство «Центр импульсно-детонационного горения», v.aksenov@mail.ru

³Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской Академии наук; Некоммерческое партнерство «Центр импульсно-детонационного горения», ivanov.vls@gmail.com

⁴Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской Академии наук; Некоммерческое партнерство «Центр импульсно-детонационного горения», medvedevs@chph.ras.ru

⁵Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской Академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»; Некоммерческое партнерство «Центр импульсно-детонационного горения», igor.shamshin@mail.ru

⁶Тураевское машиностроительное конструкторское бюро «Союз», г. Лыткарино, amntksouyuz@mail.ru

⁷Тураевское машиностроительное конструкторское бюро «Союз», г. Лыткарино, info@tmkb-soyuz.ru

- tures // Shock Waves, 2011. Vol. 21. P. 75–84.
10. *Фролов С. М., Аксенов В. С., Гусев П. А., Иванов В. С., Медведев С. Н., Шамшин И. О.* Экспериментальные исследования стендовых образцов малоразмерных ракетных двигателей с непрерывно-детонационными камерами сгорания // Горение и взрыв, 2015. Т. 8. № 1. С. 151–163.
 11. *Иванов В. С., Аксёнов В. С., Фролов С. М., Шамшин И. О.* Экспериментальные исследования стендового образца ракетного двигателя с непрерывно-детонационным горением смеси природного газа с кислородом // Горение и взрыв, 2016. Т. 9. № 2. С. 51–64.
 12. *Медведев С. Н., Иванов В. С., Фролов С. М.* Трёхмерное численное моделирование рабочего процесса и тяговых характеристик стендового образца ракетного двигателя с непрерывно-детонационным горением смеси природного газа с кислородом // Горение и взрыв, 2016. Т. 9. № 2. С. 65–79.
 13. *Фролов С. М., Аксенов В. С., Дубровский А. В., Зангиев А. Э., Иванов В. С., Медведев С. Н., Шамшин И. О.* Хемионизационная и акустическая диагностика рабочего процесса в непрерывно-детонационных и импульсно-детонационных камерах сгорания // Докл. РАН, 2015. Т. 465. № 1. С. 62–67.

Поступила в редакцию 23.10.17