

# ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК СМЕСИТЕЛЕЙ-КОНДЕНСАТОРОВ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ОРБИТАЛЬНЫХ РАЗГОННЫХ БЛОКОВ\*

Ф. С. Фролов<sup>1</sup>, С. М. Фролов<sup>2</sup>, В. С. Посвянский<sup>3</sup>, И. В. Семенов<sup>4</sup>

**Аннотация:** Разработана физико-математическая модель, описывающая тепло- и массообмен плотной газозвеси капель воды с заторможенными высокотемпературными продуктами горения ракетного топлива, позволяющая оценить характеристики смесителей-конденсаторов для наземных испытаний ракетных двигателей орбитальных разгонных блоков. Проведенные расчеты показали, что использование водяных струй с каплями радиусом 0,5–0,2 мм с коэффициентом загрузки воды от 5 до 8 кг/м<sup>3</sup> позволяет снизить давление и температуру заторможенных продуктов горения водородно-кислородного двигателя в смесителе-конденсаторе от 0,6 до 0,03–0,05 атм и от 2700 до 300–360 К соответственно за времена от 10 до 50 мс. Приведенные оценки получены в предположении о пространственно однородном распределении водяных капель в объеме смесителя-конденсатора без учета таких эффектов, как «скольжение» фаз, а также деформация и дробление капель в газовом потоке. Ожидается, что при учете этих эффектов длина смесителей-конденсаторов не должна превышать 3–8 м.

**Ключевые слова:** стенд, имитирующий высотные условия; водородно-кислородный ракетный двигатель; смеситель-конденсатор; водяные струи; охлаждение и конденсация водяного пара; теоретическая модель; оценка характеристик

## Литература

1. *Haberzettl A., Gunder D., Zimmermann H., Poulin E., Delange J. F., Prevot Y., Kestemann M.* VULCAIN 2 Flight Load simulation device (LSD) // 1st EUCASS Proceedings, 2005. Moscow. CD.
2. *Nageswara Rao B., Vijayakumar Reddy K.* Performance of cooling hot gas discharge spray cooler with flow parameters variation // Indian J. Sci. Technol., 2012. Vol. 5. No. 5. P. 2762–2764.

---

\* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 15-08-00782).

<sup>1</sup>Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, f.frolov@chph.ru

<sup>2</sup>Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, smfrol@chph.ras.ru

<sup>3</sup>Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, vsposv@chph.ras.ru

<sup>4</sup>Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук; Институт автоматизации проектирования Российской академии наук, semenov@icad.org.ru

3. Фролов С. М., Басевич В. Я., Посвянский В. С., Сметанюк В. А. Испарение и горение капли углеводородного топлива. IV. Испарение капли с учетом коллективных эффектов // Хим. физика, 2004. Т. 23. № 7. С. 49–58.
4. Фролов С. М., Басевич В. Я., Фролов Ф. С., Борисов А. А., Сметанюк В. А., Авдеев К. А., Гоц А. Н. Корреляция между испарением и самовоспламенением капли // Хим. физика, 2009. Т. 28. № 5. С. 3–18.
5. Басевич В. Я., Фролов С. М., Посвянский В. С., Веденеев В. И., Романович Л. Б. Низкотемпературное самовоспламенение капли // Хим. физика, 2005. Т. 24. № 5. С. 89–98.
6. Кузнецов Н. М. Двухфазная смесь вода–пар. Уравнение состояния, скорость звука, энтропия // Докл. АН СССР, 1981. Т. 257. № 4. С. 858–864.
7. Фролов С. М., Медведев С. Н., Басевич В. Я., Фролов Ф. С. Самовоспламенение и горение тройных гомогенных и гетерогенных смесей углеводород–водород–воздух // Хим. физика, 2013. Т. 32. № 8. С. 43–48.
8. Фролов С. М., Сметанюк В. А. Тепло- и массообмен капли с газовым потоком // Хим. физика, 2006. Т. 25. № 4. С. 42–54.
9. Борисов А. А., Фролов С. М., Сметанюк В. А., Полихов С. А., Сегал К. Взаимодействие капли горючего с газовым потоком // Хим. физика, 2005. Т. 24. № 7. С. 50–57.

*Поступила в редакцию 01.11.14*