

ГОРЕНИЕ ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ОБЪЕМЕ НАД СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ВОДЫ*

С. М. Фролов¹, С. В. Платонов², К. А. Авдеев³, В. С. Аксёнов⁴, В. С. Иванов⁵, И. А. Садыков⁶, Р. Р. Тухватуллина⁷, Ф. С. Фролов⁸, И. О. Шамшин⁹

Аннотация: Разработаны физико-математическая модель и вычислительная программа для трехмерного расчета горения подготовленной горючей смеси в объеме над свободной поверхностью воды. Для проверки предсказательной способности модели спроектирована и изготовлена лабораторная установка, включающая прозрачную цилиндрическую трубу с одним закрытым концом, бассейн с оптически прозрачным окном, а также системы питания, зажигания, управления и измерений. На установке проведена серия экспериментов по горению стехиометрической пропановоздушной смеси в объеме над свободной поверхностью воды. Проведено прямое сравнение результатов расчетов с экспериментом: по форме и положению фронта пламени и границы раздела сред «газ–вода» в разные моменты времени; по динамике изменения давления в объеме над свободной поверхностью воды и силы, действующей на закрытый конец трубы, а также по перемещению границы раздела сред и по зависимости видимой скорости пламени от времени. Получено удовлетворительное качественное и количественное согласие результатов расчетов и измерений. Разработанную физико-математическую модель в дальнейшем планируется адаптировать к задачам проектирования газовой каверны с горением под днищем катера.

Ключевые слова: горение газа над свободной поверхностью воды; топливно-воздушная смесь; замкнутый объем; математическая модель; эксперимент; выталкивающая сила; перемещение границы раздела сред; газовая каверна с горением под днищем катера

DOI: 10.30826/CE19120307

Литература

1. Фролов С. М., Платонов С. В., Авдеев К. А., Аксёнов В. С., Иванов В. С., Зангиев А. Е., Коваль А. С., Фролов Ф. С. Горение топливно-воздушной смеси в газовой каверне под днищем скоростного судна // Горение и взрыв, 2016. Т. 9. № 4. С. 12–21.
2. Фролов С. М., Платонов С. В. Способ снижения гидродинамического сопротивления движению судна. Патент РФ 2653664, 11.05.2018.
3. Medvedev R. N., Drozhzhin A. P., Teslenko V. S. Thrust generation by pulse combustion of gas in a submerged chamber // Int. J. Multiphas. Flow, 2016. Vol. 83. P. 232–238.

*Работа выполнена за счет субсидии, выделенной ФИЦ ХФ РАН на выполнение государственного задания по теме 0082-2016-0011 «Фундаментальные исследования процессов превращения энергоемких материалов и разработка научных основ управления этими процессами», номер государственной регистрации АААА-А17-117040610346-5, и субсидии, выделенной ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (выполнение фундаментальных научных исследований ГП 14) по теме № 0065-2019-0005 «Математическое моделирование динамических процессов в деформируемых и реагирующих средах с использованием многопроцессорных вычислительных систем» (номер государственной регистрации АААА-А19-119011590092-6). Работа также выполнена при поддержке РФФИ (проект 16-29-01065офи-м).

¹Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ; Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, smfrol@chph.ras.ru

²АО «ЦМКБ «Алмаз», Санкт-Петербург, platsv@yandex.ru

³Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, kaavdeev@mail.ru

⁴Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, v.aksenov@mail.ru

⁵Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, ivanov.vls@gmail.com

⁶Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, churus1314@rambler.ru

⁷Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, tukhvatullinarr@gmail.com

⁸Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, f.frolov@chph.ru

⁹Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, igor_shamshin@mail.ru

4. Фролов С. М., Платонов С. В., Авдеев К. А., Аксёнов В. С., Зангиев А. Э., Садыков И. А., Шамшин И. О. Численное и экспериментальное исследование подъемной силы, создаваемой искусственной газовой камерной под днищем катера // Горение и взрыв, 2018. Т. 11. № 3. С. 60–73. doi: 10.30826/CE18110308.
5. Тесленко В. С., Дрожжин А. П., Медведев Р. Н. 2017. Сжигание газов в воде для генерации тяги // Теплофизика и аэромеханика, 2017. Т. 24. № 4. С. 599–608.
6. Нугматулин Р. И. Динамика многофазных сред. Ч. I. — М.: Наука, 1987. 464 с.
7. Frolov S. M., Avdeev K. A., Aksenov V. S., Borisov A. A., Frolov F. S., Shamshin I. O., Tikhvatullina R. R., Basara B., Edelbauer W., Pachler K. Experimental and computational studies of shock wave-to-bubbly water momentum transfer // Int. J. Multiphas. Flow, 2017. Vol. 92. P. 20–38. doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2017.01.016.
8. Sapko M. J., Furmo A. L., Kuchita J. M. Quenching methane–air ignitions with water sprays. U.S. Bureau of Mines, 1977. Investigation Report 8214.
9. Launder B. E., Spalding D. B. The numerical computation of turbulent flows // Comput. Method. Appl. M., 1974. Vol. 3. No. 2. P. 269–289. doi: 10.1016/0045-7825(74)90029-2.
10. Frolov S. M., Ivanov V. S., Basara B., Suffa M. Numerical simulation of flame propagation and localized preflame autoignition in enclosures // J. Loss Prevent. Proc., 2013. Vol. 26. P. 302–309. doi: 10.1016/j.jlp.2011.09.007.
11. Беляев А. А., Басевич В. Я., Фролов Ф. С., Фролов С. М., Басара Б., Суффа М. База данных для характеристик ламинарного горения n-гептана // Горение и взрыв, 2010. Т. 3. С. 30–37.
12. Иванов В. С., Фролов С. М. Математическое моделирование распространения пламени в гладких трубах и трубах с регулярными препятствиями // Пожаровзрывобезопасность, 2010. Т. 19. № 1. С. 14–19.
13. Беляев А. А., Басевич В. Я., Фролов С. М., Фролов Ф. С. База данных для характеристик ламинарного горения воздушных смесей метана и водорода в присутствии паров воды // Горение и взрыв, 2012. Т. 5. С. 3–10.
14. Беляев А. А., Басевич В. Я., Фролов С. М. База данных для расчета ламинарного и турбулентного горения воздушных смесей авиационного керосина // Горение и взрыв, 2015. Т. 8. Вып. 1. С. 29–36.
15. Patankar S. V., Spalding D. B. A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows // Int. J. Heat Mass Tran., 1972. Vol. 15. No. 1. P. 1510–1520.
16. Barth T. J. Aspects of unstructured grids and finite-volume solvers for the Euler and Navier–Stokes equations // Special course on unstructured grid methods for advection dominated flows. — AGARD, 1992. 61 p.

Поступила в редакцию 28.10.19