

КОНВЕКТИВНОЕ ГОРЕНИЕ: ОТ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Б. С. Ермолаев¹, А. А. Сулимов², А. В. Романьков³, В. Е. Храповский⁴

Аннотация: До последнего времени отношение к конвективному горению определялось его ключевой ролью в развитии взрыва при аварийных возгораниях энергетических материалов (ЭМ). Как только при аварии оказываются превышенными пороговые условия начала конвективного горения, переход к разрушительной детонации для большей части ЭМ становится неминуем. Вместе с тем, характеристики конвективного горения оказываются весьма привлекательными для ряда технических приложений. Цикл работ по стабилизации и изучению свойств конвективного горения в разных условиях, выполненный в лаборатории взрывных процессов ИХФ РАН, позволил вплотную приступить к изучению условий работы в импульсных технических устройствах. В статье подводятся итоги исследований, проведенных после 1973 г. Первая часть посвящена новым данным относительно свойств и механизмов конвективного горения. Далее изложены результаты исследований, доказывающие возможность эффективно использовать конвективное горение в качестве рабочего режима горения в импульсных метательных и сопловых устройствах.

Ключевые слова: конвективное горение; переход горения в детонацию; ствольное устройство; импульсное сопловое устройство; блочный заряд

Литература

1. *Беляев А. Ф., Боболев В. К., Коротков А. И., Сулимов А. А., Чуйко С. В.* Переход горения конденсированных систем во взрыв. — М.: Наука, 1973. 293 с.
2. *Сулимов А. А., Ермолаев Б. С.* Квазистационарное конвективное горение в энергетических материалах с низкой пористостью (часть 1) // Хим. физика, 1997. Т. 16. № 9. С. 51.
3. *Храповский В. Е., Сулимов А. А., Ермолаев Б. С.* Переход горения в детонацию в пористых энергетических материалах, связанный с формированием вторичной волны давления // Хим. физика, 1997. Т. 16. № 11. С. 99.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант 16-29-01010 офи_м.

¹Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, boris.ermolaev@yahoo.com

²Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, aasul@chph.ras.ru

³Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, romankov@mail.ru

⁴Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, khrapovskii@chph.ras.ru

4. Сулимов А. А., Ермолаев Б. С., Храповский В. Е. Конвективное горение малопористых блочных зарядов в импульсных сопловых устройствах // Хим. физика, 2007. Т. 26. № 11. С. 47.
5. Ермолаев Б. С., Сулимов А. А., Романьков А. В., Храповский В. Е., Беляев А. А., Кроули А. Б. Конвективное горение блочных зарядов из семиканальных пороховых зерен, ингибированных поливинилбутиралем // Хим. физика, 2015. Т. 34. № 5. С. 47.
6. Кюо К. К., Vichnevetsky R., Summerfield M. Theory of flame front propagation in porous propellant charges under confinement // AJAA J., 1973. Vol. 11. No. 4. P. 444.
7. Baer M. R., Nunziato J. W. A two-phase mixture theory for the deflagration-to-detonation transition in reactive granular materials // Int. J. Multiphas. Flow, 1986. Vol. 12. P. 861.
8. Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред. — М.: Наука, 1987. 464 с.
9. Ермолаев Б. С., Сулимов А. А., Беляев А. А., Романьков А. В., Посвянский В. С. Моделирование конвективного горения ингибированных энергетических материалов // Хим. физика, 2001. Т. 20. № 1. С. 84.
10. Ермолаев Б. С., Беляев А. А., Сулимов А. А. Численное моделирование перехода горения в детонацию в пироксилиновых порохах // Хим. физика, 2004. Т. 23. № 1. С. 67.
11. Ермолаев Б. С., Беляев А. А., Сулимов А. А. Численное моделирование конвективного горения пористых смесевых систем на основе мелкодисперсных алюминия и перхлората аммония // Хим. физика, 2005. Т. 24. № 1. С. 79.
12. Borisov A. A., Ermolaev B. S., Komissarov P. V., Kudryavtseva E. L., Sokolov G. N., Ibragimov R. H. Convective burning of ternary aluminium – ammonium perchlorate – nitromethane mixtures // Pulsed and continuous detonations / Eds. G. Roy, S. Frolov, J. Sinibaldi. — М.: TORUS PRESS, 2006. P. 91.
13. Сулимов А. А., Ермолаев Б. С., Коротков А. И., Окунев В. А., Посвянский В. С., Фотеенков В. А. Закономерности распространения волн конвективного горения в замкнутом объеме // Физика горения и взрыва, 1987. Т. 23. № 6. С. 9.
14. Окунев В. А. Развитое конвективное горение и переход в низкоскоростную детонацию в пористых пороховых зарядах // М.: ИХФ, 1989. Дисс. . . . канд. физ.-мат. наук. 143 с.
15. Беликов Е. П., Храповский В. Е., Ермолаев Б. С., Сулимов А. А. Особенности развития взрыва в порошкообразной модельной смеси перхлорат аммония – полистирол // Физика горения и взрыва, 1990. № 4. С. 101.
16. Храповский В. Е., Худавердиев В. Г., Сулимов А. А. О конвективном горении смесей перхлората аммония с алюминием // Физика горения и взрыва, 2011. Т. 47. № 4. С. 1.
17. Храповский В. Е., Ермолаев Б. С., Сулимов А. А., Беляев А. А., Фотеенков В. А. Конвективное горение прессованных зарядов из смесей алюминия и перхлората аммония // Хим. физика, 2007. Т. 26. № 1. С. 35.
18. Храповский В. Е., Худавердиев В. Г., Сулимов А. А. Конвективное горение и переход во взрыв в мелкодисперсных смесях аммиачной селитры с алюминием // Горение и взрыв, 2013. Вып. 6. С. 211–213.
19. Ермолаев Б. С., Худавердиев В. Г., Беляев А. А. Численное моделирование развития взрыва в мелкодисперсных смесях нитрата аммония с алюминием в манометрической бомбе // Горение и взрыв, 2015. Т. 8. № 2. С. 234–241.
20. Храповский В. Е., Сулимов А. А. О механизме конвективного горения пористых систем // Физика горения и взрыва, 1988. № 2. С. 39.

21. Фотеенков В. А., Коротков А. И., Ермолаев Б. С., Сулимов А. А. Распространение конвективного горения в зарядах насыпной плотности // Физика горения и взрыва, 1982. № 2. С. 137.
22. Ермолаев Б. С., Беляев А. А., Викторов С. Б., Слепцов К. А., Жарикова С. Ю. Неидеальные режимы дефлаграции и детонации дымного пороха // Хим. физика, 2010, Т. 29. № 5. С. 48.
23. Ермолаев Б. С., Фотеенков В. А., Хасаинов Б. А., Сулимов А. А., Малинин С. Е. Критические условия перехода горения во взрыв в зерненных взрывчатых материалах // Физика горения и взрыва, 1990. № 5. С. 102.
24. Ермолаев Б. С., Малинин С. Е., Сулимов А. А., Фотеенков В. А. Способ определения склонности порошкообразных ВМ к переходу горения во взрыв. Патент РФ № 1790760 от 22.09.92.
25. Сулимов А. А., Сукоян М. К., Михайлов Ю. М., Королев В. П., Романьков А. В., Хиникадзе А. В. Метательный заряд. Патент РФ на изобретение № 2153144 от 20 июля 2000 г.
26. Королев В. П., Сулимов А. А., Михайлов Ю. М., Зубачев В. И. Особенности баллистики высокоплотных зарядов конвективного горения // Мат-лы 2-й Всеросс. конф. «Энергетические конденсированные системы». — Черноголовка, 2004. С. 43.
27. Сулимов А. А., Ермолаев Б. С., Королев В. П., Михайлов Ю. М., Романьков А. В. Исследования конвективного горения и внутрибаллистического процесса высокоплотных пороховых зарядов в ствольных установках // Мат-лы 2-й Всеросс. конф. «Энергетические конденсированные системы». — Черноголовка, 2004. С. 226.
28. Хоменко Ю. П., Ищенко А. Н., Касимов В. З. Математическое моделирование внутрибаллистических процессов в ствольных системах // Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999.
29. Baer P. G., May I. W. Traveling-charge effect // Gun propulsion technology / Ed. L. Stiefel. — Progress in astronautics and aeronautics ser. — Washington, D.C., USA: AIAA Inc., 1988. Vol. 109. P. 499.
30. Ермолаев Б. С., Сулимов А. А., Романьков А. В. Присоединенный высокоплотный заряд конвективного горения в комбинированной схеме выстрела: новые результаты // Горение и взрыв, 2013. Вып. 6. С. 206–210.
31. Ermolaev B. S., Romankov A. V., Sulimov A. A., Crowley A. B. Compacted modified propellant blocks as traveling charge in the hybrid shot scheme // Propell. Explos. Pyrot., 2014. Vol. 39. No. 6. P. 881.

Поступила в редакцию 18.12.15