

ПЕРЕХОД ГОРЕНИЯ В ДЕТОНАЦИЮ В СИСТЕМЕ «КИСЛОРОД – ПЛЕНКА ЖИДКОГО n-ГЕПТАНА»*

С. М. Фролов¹, В. С. Аксёнов², И. О. Шамшин³

Аннотация: Впервые экспериментально зарегистрирован переход горения в детонацию (ПГД) в системе «газ–пленка» при слабом источнике зажигания, который не генерирует начальную ударную волну (УВ) сколь-нибудь значительной интенсивности. В серии опытов с разной энергией зажигания (от 14 до 480 Дж) в прямом гладком канале прямоугольного сечения 54×24 мм длиной 3 м с одним открытым концом получен ПГД в системе «газ (кислород) – пленка жидкого топлива (n-гептан)» на расстояниях от 1 до 2 м от источника зажигания за время от 2,6 до 31 мс после момента зажигания. Несмотря на различия в динамике развития детонационного взрыва от опыта к опыту как с разными, так и с одинаковыми энергиями зажигания, измеренная скорость детонационной волны (ДВ) не зависела от энергии зажигания и составляла 1800–2000 м/с (77%–85% от скорости детонации Чепмена–Жуге), а профили давления и свечения в ДВ сохраняли свою форму. Анализ структуры ДВ дает основание полагать, что к фронту ДВ, бегущему над поверхностью пленки, под углом около 45° примыкает движущаяся в следе косая УВ. Скоростная видеосъемка развития процесса на начальном участке канала показала, что горение в канале развивается в относительно узком слое над жидкой пленкой и даже на сравнительно больших временах, сопоставимых с преддетонационным периодом, занимает только часть сечения канала. В ряде опытов впервые зарегистрирован низкоскоростной квазистационарный детонационноподобный фронт горения, бегущий со средней скоростью 700–900 м/с, структура которого включает лидирующую УВ и следующую за ним зону реакции, разделенные временной задержкой от 80 до 150 мкс.

Ключевые слова: пленка жидкого топлива; кислород; переход горения в детонацию; режимы горения; эксперимент; скоростная видеосъемка

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-08-00782).

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

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

³Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Центр импульсно-детонационного горения; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», shamshin@idgcenter.ru

Литература

1. Roy G. D., Frolov S. M., Borisov A. A., Netzer D. W. Pulse detonation propulsion: Challenges, current status, and future perspective // Prog. Energ. Combust. Sci., 2004. Vol. 30. No. 6. P. 545–672.
2. Войцеховский Б. В. Стационарная детонация // Докл. АН СССР, 1959. Т. 129. № 6. С. 1254–1256.
3. Фролов С. М. Способы организации рабочего процесса в непрерывно-детонационной камере сгорания реактивного двигателя на жидком топливе и устройства для их осуществления. Заявка на патент РСТ/RU2014/000779 от 16.10.2014.
4. Loison R. The propagation of deflagration in a tube covered with an oil film // CR Acad. Sci., 1952. Vol. 234. No. 5. P. 512–513.
5. Гордеев В. Е., Комов В. Ф., Трошин Я. К. О детонационном горении гетерогенных систем // Докл. АН СССР, 1965. Т. 160. № 4. С. 853–856.
6. Комов В. Ф., Трошин Я. К. О структуре и механизме детонации гетерогенных систем // Докл. АН СССР, 1965. Т. 162. № 1. С. 133–135.
7. Комов В. Ф., Трошин Я. К. О свойствах детонации в некоторых гетерогенных системах // Докл. АН СССР, 1967. Т. 175. № 1. С. 109–112.
8. Лесняк С. А., Назаров М. А., Трошин Я. К. К механизму распространения гетерогенной детонации // Докл. АН СССР, 1968. Т. 182. № 5. С. 1122–1125.
9. Лесняк С. А., Назаров М. А., Трошин Я. К. Взаимодействие ударной волны с пленкой вязкой жидкости // Докл. АН СССР, 1968. Т. 183. № 3. С. 628–631.
10. Ragland K. W., Nicholls J. A. Two-phase detonation of a liquid layer // AIAA J., 1969. Vol. 7. No. 5. P. 859–863.
11. Лесняк С. А., Трошин Я. К. Некоторые результаты исследования гетерогенной детонации // Физика горения и взрыва, 1970. Т. 6. № 4. С. 560–564.
12. Sichel M., Rao C. S., Nicholls J. A. A simple theory for the propagation of film detonations // 13th Symposium (International) on Combustion Proceedings. Pittsburgh, PA, USA: The Combustion Institute, 1971. P. 1141–1149.
13. Rao C. S., Sichel M., Nicholls J. A. Two dimensional theory for two phase detonations of the liquid films // Combust. Sci. Technol., 1972. Vol. 4. No. 5. P. 209–216.
14. Лесняк С. А., Слуцкий В. Г. Одномерная диффузионная модель гетерогенной (газ–пленка) детонации // ПМТФ, 1974. Т. 15. № 3. С. 86–95.
15. Воробьев М. В., Лесняк С. А., Назаров М. А., Трошин Я. К. Неустойчивость границы раздела газ–жидкость за фронтом ударной волны, скользящей вдоль поверхности пленки жидкости // Доклады АН СССР, 1976. Т. 227. № 4. С. 900–903.
16. Воробьев М. В., Лесняк С. А., Назаров М. А., Трошин Я. К. Разрушение пленки вязкой жидкости потоком ударно-сжатого газа // Докл. АН СССР, 1976. Т. 230. № 2. С. 344–346.
17. Воробьев М. В., Лесняк С. А., Назаров М. А., Трошин Я. К. Воспламенение гетерогенных (газ–пленка) систем ударными волнами // Докл. АН СССР, 1976. Т. 231. № 1. С. 119–122.
18. Борисов А. А., Гельфанд Б. Е., Шернаев С. М., Тимофеев Е. И. О механизме смесеобразования за ударной волной, скользящей по поверхности жидкости // Физика горения и взрыва, 1981. Т. 17. № 5. С. 86–93.

19. Фролов С. М., Гельфанд Б. Е., Тимофеев Е. И. Взаимодействие пленки жидкости с высокоскоростным газовым потоком за ударной волной // Физика горения и взрыва, 1984. Т. 20. № 5. С. 107–114.
20. Фролов С. М., Гельфанд Б. Е., Борисов А. А. Простая модель детонации в системе газ–пленка с учетом механического уноса горючего // Физика горения и взрыва, 1985. Т. 21. № 1. С. 110–117.

Поступила в редакцию 18.03.16