

УСИЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ДВУХФАЗНОЙ СМЕСИ ПЕРЕГРЕТОГО ВОДЯНОГО ПАРА И ЖИДКОГО ТРИЭТИЛАЛЮМИНИЯ*

С. М. Фролов¹, И. О. Шамшин², К. А. Бырдин³, К. А. Авдеев⁴, В. С. Аксёнов⁵,
П. А. Стороженко⁶, Ш. Л. Гусейнов⁷

Аннотация: Впервые экспериментально продемонстрирована возможность усиления ударной волны в двухфазной смеси перегретого водяного пара и жидкого триэтилалюминия (ТЭА, $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$). Показано, что тонкая синхронизация момента впрыска ТЭА в поток перегретого водяного пара с моментом прихода затухающей ударной волны позволяет обеспечить незатухающий характер распространения ударной волны в двухфазной среде перегретый водяной пар – ТЭА со скоростью на уровне 1500–1700 м/с. Такой уровень скорости согласуется с термодинамическим расчетом для скорости детонации в обедненной горючим смеси перегретого водяного пара с ТЭА. Поскольку зарегистрированные в экспериментах профили давления в целом не соответствуют профилю давления в детонационной волне, утверждать, что получен переход ударной волны в детонацию пока преждевременно.

Ключевые слова: ударная волна; перегретый водяной пар; жидкий триэтилалюминий; химическое энерговыделение; усиление ударной волны

DOI: 10.30826/CE24170208

EDN: RQKKYK

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., 2004. Vol. 30. No. 6. P. 545–672.
2. Bykovskii F. A., Zhdan S. A., Vedernikov E. F. Continuous spin detonations // J. Propul. Power, 2006. Vol. 22. No. 6. P. 1204–1216. doi: 10.2514/1.17656.
3. Frolov S. M., Platonov S. V., Avdeev K. A., Aksenov V. S., Ivanov V. S., Zangiev A. E., Sadykov I. A., Tukhvatullina R. R., Frolov F. S., Shamshin I. O. Pulsed combustion of fuel–air mixture in a cavity above water surface: Modeling and experiments // Shock Waves, 2022. Vol. 32. No. 1. P. 1–10. doi: 10.1007/s00193-021-01045-3.
4. Frolov S. M., Platonov S. V., Avdeev K. A., Aksenov V. S., Ivanov V. S., Zangiev A. E., Sadykov I. A., Tukhvatullina R. R., Frolov F. S., Shamshin I. O. Pulsed combustion of fuel–air mixture in a cavity under the boat bottom: Modeling and experiments // Shock Waves, 2022. Vol. 32. No. 1. P. 11–24. doi: 10.1007/s00193-021-01046-2.
5. Frolov S. M., Avdeev K. A., Aksenov V. S., Frolov F. S., Sadykov I. A., Shamshin I. O., Tukhvatullina R. R. Pulsed detonation hydrojet: Simulations and experiments // Shock Waves, 2020. Vol. 30. No. 3. P. 221–234. doi: 10.1007/s00193-019-00906-2.
6. Frolov S. M., Avdeev K. A., Aksenov V. S., Frolov F. S., Sadykov I. A., Shamshin I. O. Pulsed detonation hydrojet: Design optimization // J. Marine Science Engineering, 2022. Vol. 10. P. 1171. doi: 10.3390/jmse10091171.
7. Бырдин К. А., Фролов С. М., Стороженко П. А., Гусейнов Ш. Л. Детонационная способность бор- и алюминий-содержащих соединений в воздухе, воде и диоксиде углерода // Горение и взрыв, 2023. Т. 16. № 2. С. 50–70. doi: 10.30826/CE23160205.
8. Seedhouse E. SpaceX: Starship to Mars — the first 20 years. — Cham, Switzerland: Springer, 2022. 232 p.

*Работа выполнена за счет субсидии, предоставленной ФИЦ ХФ РАН на выполнение государственного задания с регистрационным номером 122040500073-4.

¹Федеральный научный центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук (ФИЦ ХФ РАН); Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», smfrol@chph.ras.ru

²Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, igor-shamshin@mail.ru

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

⁴Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, kaavdeev@mail.ru

⁵Федеральный научный центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук (ФИЦ ХФ РАН); Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», vaksenov@mail.ru

⁶АО «Государственный Орден Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений», bigpastor@mail.ru

⁷АО «Государственный Орден Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений», rejhan@bk.ru

9. *Billig F. S.* A study of combustion in supersonic streams: PhD Diss. — College Park, MD, USA: University of Maryland, 1964.
10. *Frolov S. M., Basevich V. Y., Belyaev A. A., Shamshin I. O., Aksenov V. S., Frolov F. S., Storozhenko P. A., Guseinov S. L.* Kinetic model and experiment for self-ignition of triethylaluminum and triethylborane droplets in air // *Micromachines*, 2022. Vol. 13. P. 2033. doi: 10.3390/mi13112033.
11. *Кузнецов Н. М., Фролов С. М., Шамшин И. О., Сто-роженко П. А.* Кинетика взаимодействия капель триэтилалюминия с перегретым водяным паром: эксперимент, физико-химическая модель и схема химических реакций // *Горение и взрыв*, 2020. Т. 13. № 3. С. 76–81. doi: 10.30826/CE20130307.
12. *Фролов С. М., Аксенов В. С., Басевич В. Я.* Иницирование детонации при взаимодействии ударной волны с зоной форкамерно-факельного зажигания // *Докл. Акад. наук*, 2006. Т. 410. № 1. С. 70–74.
13. *Frolov S. M., Shamshin I. O., Aksenov V. S., Ivanov V. S., Vlasov P. A.* Ion sensors for pulsed and continuous detonation combustors // *Chemosensors*, 2023. Vol. 11. No. 33. doi: 10.3390/chemosensors11010033.

Поступила в редакцию 19.02.2024