

МЕХАНИЗМЫ ГЕНЕРАЦИИ И УСИЛЕНИЯ ВОЛН СЖАТИЯ ПРИ СВОБОДНОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ ПЛАМЕНИ*

А. Д. Киверин¹, И. С. Яковенко²

Аннотация: Представлены результаты расчетно-теоретического анализа механизмов генерации и усиления ударных волн в процессе свободного распространения пламени. Выявлены два базовых механизма генерации ударных волн, соответствующие линейной и нелинейной стадиям развития гидродинамической неустойчивости фронта пламени. На примере высокоактивной горючей смеси продемонстрирована роль термоакустической неустойчивости в усилении ударных волн и создании условий для перехода к детонации.

Ключевые слова: свободно распространяющееся пламя; неустойчивость пламени; ударные волны; термоакустическая неустойчивость; переход в детонацию

DOI: 10.30826/CE21140103

Литература

1. Ng H. D., Lee J. Comments on explosion problems for hydrogen safety // J. Loss Prevent. Proc., 2008. Vol. 21. No. 2. P. 136–146. doi: 10.1016/j.jlp.2007.06.001
2. Mitigation of hydrogen hazards in severe accidents in nuclear power plants. — Vienna: IAEA, 2011. IAEA-TECDOC-1661. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1661_Web.pdf.
3. Verhelst S., Wallner T. Hydrogen-fueled internal combustion engines // Prog. Energ. Combust., 2009. Vol. 35. No. 6. P. 490–527. doi: 10.1016/j.peccs.2009.08.001.
4. Efremov V. P., Ivanov M. F., Kiverin A. D., Utkin A. V. Shock-wave dynamics during oil-filled transformer explosions // Shock Waves, 2016. Vol. 27. No. 3. P. 517–522. doi: 10.1007/s00193-016-0688-2.
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Гидродинамика. — 3-е изд., испр. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 736 с.
6. Гостинцев Ю. А., Истратов А. Г., Шуленин Ю. В. Авто-модельный режим распространения свободного турбулентного пламени в перемешанных газовых смесях // Физика горения и взрыва, 1988. Т. 5. С. 63–70.
7. Зельдович Я. Б., Розловский А. И. Об условиях возникновения неустойчивости нормального горения // Докл. Акад. наук СССР, 1947. Т. 57. № 4. С. 365–368.
8. Киверин А. Д., Яковенко И. С., Фортвов В. Е. Механизм формирования детонации при свободном распространении пламени в неограниченном пространстве // Докл. Академии наук, 2019. Т. 489. № 5. С. 461–464. doi: 10.31857/S0869-56524895461-464.
9. Киверин А. Д., Яковенко И. С. Переход к детонации в свободно распространяющихся пламенах // Горение и взрыв, 2020. Т. 13. № 1. С. 47–54.
10. Bykov V., Kiverin A., Koksharov A., Yakovenko I. Analysis of transient combustion with the use of contemporary CFD techniques // Comput. Fluids, 2019. Vol. 194. P. 104310. doi: 10.1016/j.compfluid.2019.104310.
11. Keromnes A., Metcalfe W. K., Heufer K. A., Donohoe N., Das A. K., Sung C.-J., Herzler J., Naumann C., Griebel P., Mathieu O., Krejci M. C., Petersen E. L., Pitz W. J., Curran H. J. An experimental and detailed chemical kinetic modeling study of hydrogen and syngas mixture oxidation at elevated pressures // Combust. Flame, 2013. Vol. 160. No. 6. P. 995–1011. doi: 10.1016/j.combustflame.2013.01.001.
12. Куликовский А. Г., Пащенко Н. Т. Устойчивость фронта пламени в расходящемся потоке // Тр. МИАН, 2013. Т. 281. С. 55–67.
13. Altantzis C., Frouzakis C., Tomboulides A., Matalon M., Boulouchos K. Hydrodynamic and thermodiffusive instability effects on the evolution of laminar planar lean premixed hydrogen flames // J. Fluid Mech., 2012. 700:329–361. doi: 10.1017/jfm.2012.136.
14. Иванов М. Ф., Киверин А. Д. О генерации высоких давлений при взаимодействии пламени с ударными волнами // Теплофизика высоких температур, 2015. Т. 53. № 5. С. 703–712. doi: 10.7868/S0040364415030072.
15. Efremov V., P., Ivanov M. F., Kiverin A. D., Yakovenko I. S. Mechanisms of direct detonation initiation via thermal explosion of radiatively heated gas–particles layer // Results Phys., 2015. Vol. 5. P. 290–296. doi: 10.1016/j.rinp.2015.10.003.
16. 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. doi: 10.1016/j.peccs.2004.05.001.

Поступила в редакцию 14.02.2021

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2020-806 от 29.09.2020).

¹Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, alexeykiverin@gmail.com

²Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, yakovenko.ivan@bk.ru