

ПЕРЕХОД ГОРЕНИЯ В ДЕТОНАЦИЮ В ВОЗДУШНЫХ СМЕСЯХ МЕТАНОВОДОРОДНОГО ГОРЮЧЕГО*

И. О. Шамшин¹, М. В. Казаченко², С. М. Фролов³, В. Я. Басевич⁴

Аннотация: Предложенный ранее экспериментальный способ оценки детонационной способности (ДС) топливно-воздушных смесей (ТВС), основанный на измерении расстояния L_{DDT} и/или времени τ_{DDT} перехода горения в детонацию (ПГД) в эталонной импульсно-детонационной трубе (ЭДТ), использован для исследования ПГД в стехиометрических ТВС на основе метановодородного горючего с объемной долей водорода x_{H_2} от 0 до 1 в одинаковых термодинамических и газодинамических условиях. На основе известных данных по горению и самовоспламенению такого горючего ожидалось, что с ростом концентрации водорода x_{H_2} расстояние и время ПГД должны монотонно уменьшаться. Вопреки ожиданиям зависимости L_{DDT} и τ_{DDT} от x_{H_2} в интервале $0,25 < x_{H_2} < 0,65$ оказались немонотонными: вместо уменьшения здесь достигаются локальные максимумы.

Ключевые слова: метановодородное горючее; топливно-воздушная смесь; детонационная способность; эталонная импульсно-детонационная труба; переход горения в детонацию

DOI: 10.30826/CE20130306

Литература

1. Соколик А. С., Щёлкин К. И. Распространение пламени в смесях метана с кислородом в закрытых трубах // Ж. физ. химии, 1933. Т. 4. № 1. С. 109–128.
2. Соколик А. С. Самовоспламенение, пламя и детонация в газах. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. 422 с.
3. Lee J. H. S. The detonation phenomenon. — New York, NY, USA: The Cambridge University Press, 2008. 400 p.
4. Фролов С. М., Гельфанд Б. Е. О предельном диаметре распространения газовой детонации в трубах // Докл. АН СССР, 1990. Т. 312. № 5. С. 1177–1180.
5. Фролов С. М., Шамшин И. О., Аксёнов В. С., Казаченко М. В., Гусев П. А. Ранжирование газовых топливно-воздушных смесей по их детонационной способности с помощью эталонной импульсно-детонационной трубы // Горение и взрыв, 2019. Т. 12. № 3. С. 78–90. doi: 10.30826/CE19120309.
6. Frolov S. M., Zvegintsev V. I., Aksenov V. S., Bilera I. V., Kazachenko M. V., Shamshin I. O., Gusev P. A., Belotserkovskaya M. S. Detonability of fuel–air mixtures // Shock Waves, 2020. doi: 10.1007/s00193-020-00966-9.
7. Karim G. A., Wierzbka I., Al-Alousi Y. Methane–hydrogen mixtures as fuels // Int. J. Hydrogen Energ., 1996. Vol. 21. No. 7. P. 625–631.
8. Kozlov V. E., Chechet I. V., Matveev S. G., Titova N. S., Starik A. M. Modeling study of combustion and pollutant formation in HCCI engine operating on hydrogen rich fuel blends // Int. J. Hydrogen Energ., 2016. Vol. 41. P. 3689–3700. doi: 10.1016/j.ijhydene.2015.12.078.
9. Halter F., Chauveau C., Djebailly-Chaumeix N., Goekalp I. Characterization of the effects of pressure and hydrogen concentration on laminar burning velocities of methane–hydrogen–air mixtures // P. Combust. Inst., 2005. Vol. 30. P. 201–208. doi: 10.1016/j.proci.2004.08.195.
10. Ilbas M., Crayford A. P., Yilmaz I., Bowen P. J., Syred N. Laminar-burning velocities of hydrogen–air and hydrogen–methane–air mixtures: An experimental study // Int. J. Hydrogen Energ., 2006. Vol. 31. P. 1768–1779. doi: 10.1016/j.ijhydene.2005.12.007.
11. Boushaki T., Dhue Y., Selle L., Ferret B., Poinot T. Effects of hydrogen and steam addition on laminar burning velocity of methane–air premixed flame: Experimental and numerical analysis // Int. J. Hydrogen Energ., 2012. Vol. 37. P. 9412–9422. doi: 10.1016/j.ijhydene.2012.03.037.
12. Donohoe N., Heufer A., Metcalfe W. K., Curran H. J.,

*Работа выполнена за счет субсидии, выделенной ФИЦ ХФ РАН на выполнение государственного задания по теме 0082-2016-0011 (номер государственной регистрации АААА-А17-117040610346-5), и субсидии, выделенной ИСМАН для выполнения государственного задания (тема 45.2). Авторы признательны И. В. Билере за помощь с хроматографическим анализом состава природного газа

¹Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, igor_shamshin@mail.ru

²Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, maksx71997@gmail.com

³Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской академии наук (ИСМАН), smfrol@chph.ras.ru

⁴Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; basevichv@yandex.ru

- Davis M. L., Mathieu O., Plichta D., Morones A., Petersen E. L., Guethe F.* Ignition delay times, laminar flame speeds, and mechanism validation for natural gas/hydrogen blends at elevated pressures // *Combust. Flame*, 2014. Vol. 161. P. 1432–1443. doi: doi: 10.1016/j.combustflame.2013.12.005.
13. *Miao Haiyan, Lu Lin, Huang Zuohua.* Flammability limits of hydrogen-enriched natural gas // *Int. J. Hydrogen Energ.*, 2011. Vol. 36. P. 6937–6947. doi: 10.1016/j.ijhydene.2011.02.126.
 14. *Трошин К. Я., Беляев А. А., Арутюнов А. В., Царенко А. А., Никитин А. В., Арутюнов В. С.* Влияние давления на самовоспламенение метановодородных смесей с воздухом // *Горение и взрыв*, 2020. Т. 13. № 1. С. 18–32. doi: 10.30826/CE20130102.
 15. *Zhang Y., Huang Z., Wei L., Zhang J., Law C. K.* Experimental and modeling study on ignition delays of lean mixtures of methane, hydrogen, oxygen, and argon at elevated pressures // *Combust. Flame*, 2019. Vol. 159. P. 918–931. doi: 10.1016/j.combustflame.2011.09.010.
 16. *Herzler J., Naumann C.* Shock-tube study of the ignition of methane/ethane/hydrogen mixtures with hydrogen contents from 0% to 100% at different pressures // *P. Combust. Inst.*, 2009. Vol. 32. P. 213–220. doi: 10.1016/j.proci.2008.07.034.
 17. *Медведев С. П., Поленов А. Н., Хомик С. В., Гельфанд Б. Е.* Переход горения в детонацию воздушных смесей бинарных горючих в канале с препятствиями // *Хим. физика*, 2010. Т. 29. № 1. С. 58–63.
 18. *Meyer J. W., Urtiew P. A., Oppenheim A. K.* On the inadequacy of gasdynamic processes for triggering the transition to detonation // *Combust. Flame*, 1970. Vol. 14. P. 13–20.
 19. *Lee J. H. S., Knystautas R., Freiman A.* High speed turbulent deflagrations and transition to detonation in H₂–air mixtures // *Combust. Flame*, 1984. Vol. 56. P. 227–239.
 20. *Cantera.* www.cantera.org
 21. *Азатян В. В., Коган А. М., Нейгауз М. Г., Поройкова А. И., Александров Е. Н.* Роль саморазогрева при горении водорода вблизи первого предела воспламенения // *Кинетика и катализ*, 1975. Т. 16. № 3. С. 577–585.
 22. *Басевич В. Я., Беляев А. А., Посвянский В. С., Фролов С. М.* Механизмы окисления и горения нормальных парафиновых углеводородов: переход от C₁–C₁₀ к C₁₁–C₁₆ // *Хим. физика*, 2013. Т. 32. № 4. С. 87–96. doi: 10.7868/S0207401X13040031.
 23. *Басевич В. Я., Беляев А. А., Медведев С. Н., Посвянский В. С., Фролов Ф. С., Фролов С. М.* Детальный кинетический механизм многостадийного окисления и горения изооктана // *Хим. физика*, 2016. Т. 35. № 10. С. 32–41. doi: 10.7868/S0207401X16100034.
 24. *Slack M. W.* Rate coefficient for H + O₂ + M = HO₂ + M evaluated from shock tube measurements of induction times // *Combust. Flame*, 1977. Vol. 28. P. 241–249.

Поступила в редакцию 14.08.2020