

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОВЗРЫВНОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ЧАСТИЦ ГЕЛЕОБРАЗНОГО ТОПЛИВА ПРИ ЗАЖИГАНИИ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ*

Д. Глушков, А. Нигай, К. Паушкина, А. Плешко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Аннотация: Выполнено экспериментальное исследование зажигания и горения группы составов гелеобразных топлив, в том числе с добавлением мелкодисперсных частиц металлов и неметаллов, в условиях диспергирования капли расплава топлива при интенсивном нагреве в высокотемпературной среде неподвижного газообразного окислителя. Группа упруго деформируемых составов гелеобразных топлив приготовлена на основе маслonaполненных криогелей с добавлением 30%(масс.) мелкодисперсных частиц (углеродистых, Si, Cu) и без них. В условиях лучистого нагрева при температурах окислителя 600–1000 °С установлено устойчивое зажигание топлива при протекании процесса диспергирования, оказывающего положительное влияние на интенсивность выгорания горючих компонентов топлива. Для исследованных топливных составов установлены времена задержки зажигания частиц начальной массой 10 мг и средние скорости движения мелкодисперсных фрагментов, разлетающихся при диспергировании капель расплава топлива.

Ключевые слова: гелеобразное топливо; частица; высокотемпературная воздушная среда; зажигание и горение; диспергирование

DOI: 10.30826/CE22150304

EDN: ICBNRC

Литература

1. Padwal M. B., Natan B., Mishra D. P. Gel propellants // *Prog. Energ. Combust.*, 2021. Vol. 83. P. 100885. doi: 10.1016/j.pecs.2020.100885.
2. Ciezki H. K., Naumann K. W. Some aspects on safety and environmental impact of the German green gel propulsion technology // *Propell. Explos. Pyrot.*, 2016. Vol. 41. No. 3. P. 539–547. doi: 10.1002/prep.201600039.
3. Baek G., Kim C. Rheological properties of Carbopol containing nanoparticles // *J. Rheol.*, 2011. Vol. 55. No. 2. P. 313–330. doi: 10.1122/1.3538092.
4. Varma M., Pein R. Optimisation of processing conditions for gel propellant production // *Int. J. Energetic Materials Chemical Propulsion*, 2009. Vol. 8. No. 6. P. 501–513. doi: 10.1615/IntJEnergeticMaterialsChemProp.v8.i6.30.
5. Fakhri S., Lee J. G., Yetter R. A. 2010. Effect of nozzle geometry on the atomization and spray characteristics of gelled-propellant simulants formed by two impinging jets // *Atomization Spray.*, 2010. Vol. 20. No. 12. P. 1033–1046. doi: 10.1615/atomizspr.v20.i12.20.
6. Glushkov D. O., Nigay A. G., Yanovsky V. A., Yashutina O. S. Effects of the initial gel fuel temperature on the ignition mechanism and characteristics of oil-filled cryogel droplets in the high-temperature oxidizer medium // *Eng. Fuel.*, 2019. Vol. 33. No. 11. P. 11812–11820. doi: 10.1021/acs.energyfuels.9b02300.
7. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Nigay A. G., Yanovsky V. A., Yashutina O. S. Ignition mechanism and characteristics of gel fuels based on oil-free and oil-filled cryogels with fine coal particles // *Powder Technol.*, 2020. Vol. 360. P. 65–79. doi: 10.1016/j.powtec.2019.09.081.
8. Vershinina K. Y., Nyashina G. S., Dorokhov V. V., Shlegel N. E. The prospects of burning coal and oil processing waste in slurry, gel, and solid state // *Appl. Therm. Eng.*, 2019. Vol. 156. P. 51–62. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.04.035.
9. Dreizin E. L. Metal-based reactive nanomaterials // *Prog. Energ. Combust.*, 2009. Vol. 35. No. 2. P. 141–167. doi: 10.1016/J.PECS.2008.09.001.
10. Maggi F., Dossi S., Paravan C., et al. Activated aluminum powders for space propulsion // *Powder Technol.*, 2015. Vol. 270. Part A. P. 46–52. doi: 10.1016/j.powtec.2014.09.048.
11. Sundaram D., Yang V., Yetter R. A. Metal-based nanoenergetic materials: Synthesis, properties, and applications // *Prog. Energ. Combust.*, 2017. Vol. 61. P. 293–365. doi: 10.1016/j.pecs.2017.02.002.
12. Pinchuk V. A., Kuzmin A. V. The effect of the addition of TiO₂ nanoparticles to coal–water fuel on its thermophysical properties and combustion parameters // *Fuel*, 2020. Vol. 267. P. 117220. doi: 10.1016/j.fuel.2020.117220.
13. Glushkov D. O., Paushkina K. K., Pleshko A. O., Vysokomorny V. S. Characteristics of micro-explosive dispersion of gel fuel particles ignited in a high-temperature

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант 18-13-00031, <https://rscf.ru/project/21-13-28043/>). Статья основана на докладе, представленном на 13-м Международном colloquium по импульсной и непрерывной детонации (ICPCD), прошедшем в Санкт-Петербурге (Россия) в период с 18 по 21 апреля 2022 г.

- air medium // *Fuel*, 2022. Vol. 313. P. 123024. doi: 10.1016/j.fuel.2021.123024.
14. *Vershinina K. Y., Glushkov D. O., Nigay A. G., Yanovsky V. A., Yashutina O. S.* Oil-filled cryogels: New approach for storage and utilization of liquid combustible wastes // *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2019. Vol. 58. No. 16. P. 6830–6840. doi: 10.1021/acs.iecr.9b00580.
 15. *Glushkov D. O., Pleshko A. O., Yashutina O. S.* Influence of heating intensity and size of gel fuel droplets on ignition characteristics // *Int. J. Heat Mass Tran.*, 2020. Vol. 156. P. 119895. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119895.
 16. *Glushkov D. O., Feoktistov D. V., Kuznetsov G. V., Batishcheva K. A., Kudelova T., Paushkina K. K.* Conditions and characteristics of droplets breakup for industrial waste-derived fuel suspensions ignited in high-temperature air // *Fuel*, 2020. Vol. 265. P. 116915. doi: 10.1016/j.fuel.2019.116915.
 17. *Пинчук В. А., Шарабура Т. А.* Физико-химические превращения при термическом воздействии на водоугольное топливо, приготовленное из низкосортных углей // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2014. № 4(289). С. 95–98).
 18. *Pinchuk V.* The main regularities of ignition and combustion of coal–water fuels produced from fat, non-baking coal and anthracite // *Int. J. Engineering Research Africa*, 2018. Vol. 38. P. 67–78. doi: 10.4028/www.scientific.net/JERA.38.67.
 19. ГОСТ 20799-88. Масла индустриальные. Технические условия. — М.: Стандартиформ, 2005. 7 с.
 20. Газпромнефть. Паспорт безопасности химической продукции. Индустриальное масло без добавок И-40А, 2022. 46 с. <https://gazpromneft-oil.ru/en#/product/1609/tab/certificate>
 21. *Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Nigay A. G., Yanovsky V. A.* Influence of gellant and drag-reducing agent on the ignition characteristics of typical liquid hydrocarbon fuels // *Acta Astronaut.*, 2020. Vol. 177. P. 66–79. doi: 10.1016/j.actaastro.2020.07.018.

Поступила в редакцию 22.02.2022