

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОЙ МЕДИ НА ДИНАМИКУ ФРОНТА ПЛАМЕНИ АЦЕТИЛЕНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ*

Г. Ю. Бивол¹, С. В. Головастов², В. В. Голуб³, Н. К. Денцель⁴, А. Е. Ельянов⁵,
Ф. С. Кулешов⁶, А. Ю. Микушкин⁷, А. А. Микушкина⁸

Аннотация: Влияние пористой меди на динамику горения предварительно перемешанных ацетиленовоздушных смесей изучалось экспериментально в открытом и полуоткрытом каналах с внезапным расширением. Воспламенение смеси осуществлялось искровым разрядом в узком канале. Пористая медь устанавливалась в канале с расширением и с поперечным размером 20 × 40 мм. Средний линейный размер пор равнялся 3,5 мм, а длина перегородки варьировалась от 10 до 90 мм. Скорость фронта пламени в свободном сечении канала определялась с помощью высокоскоростной камеры, которая использовалась совместно с теневым прибором. Распространение фронта пламени внутри пористой меди регистрировалось с помощью инфракрасной камеры. Определен вклад пористой перегородки в ускорение фронта пламени за счет турбулизации. Показано, что относительное изменение скорости фронта пламени носит линейный характер в зависимости от длины перегородки. Полученные результаты могут быть использованы как для повышения эффективности сгорания горючих газов, так и для обеспечения взрывобезопасности проектируемого газового оборудования.

Ключевые слова: пористая медь; фронт пламени; тушение; турбулизация

DOI: 10.30826/CE23160202

EDN: FYFUUW

Литература

1. Li J., Huang J., Yan M., Zhao D., Zhao J., Wei Z., Wang N. Experimental study of *n*-heptane/air combustion in meso-scale burners with porous media // *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 2014. Vol. 52. P. 47–58. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2013.08.021.
2. Samoilenko M., Seers P., Terriault P., Brailovski V. Design, manufacture and testing of porous materials with ordered and random porosity: Application to porous medium burners // *Appl. Therm. Eng.*, 2019. Vol. 158. P. 113724. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.113724.
3. Babkin V., Korzhavin A., Bunev V. Propagation of premixed gaseous explosion flames in porous media // *Combust. Flame*, 1991. Vol. 87. P. 182–190. doi: 10.1016/0010-2180(91)90168-B.
4. Nie B., Yang L., Wang J. Experiments and mechanisms of gas explosion suppression with foam ceramics // *Combust. Sci. Technol.*, 2016. Vol. 188. No. 11–12. P. 2117–2127. doi: 10.1080/00102202.2016.1218161.
5. Wu J., Li Z., Cai J., Zhao Y., Zhou R., Pang L. Experimental analysis of suppression effects of crosswise arranged porous iron–nickel materials on the natural gas explosion in utility tunnels // *J. Loss. Prevent. Proc.*, 2022. Vol. 77. P. 104775. doi: 10.1016/j.jlp.2022.104775.
6. Kamal M. M., Mohamad A. A. Enhanced radiation output from foam burners operating with a nonpremixed flame // *Combust. Flame*, 2005. Vol. 140. P. 233–248. doi: 10.1016/j.combustflame.2004.12.001.
7. Буркина П. С. Фильтрационное горение газа в полуограниченной пористой среде // *Физика горения и взрыва*, 2000. Т. 36. № 4. С. 3–14. EDN: OPWKMB.
8. Bubnovich V. I., Zhdanok S. A., Dobrego K. V. Analytical study of the combustion waves propagation under filtration of methane–air mixture in a packed bed // *Int. J. Heat Mass Tran.*, 2006. Vol. 49. No. 15–16. P. 2578–2586. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.01.019.
9. Oliveira A., Kaviany M. Nonequilibrium in the transport of heat and reactants in combustion in porous media // *Prog. Energ. Combust.*, 2001. Vol. 27. P. 523–545. doi: 10.1016/S0360-1285(00)00030-7.
10. Bubnovich V., Toledo M. Analytical modelling of filtration combustion in inert porous media // *Appl. Therm. Eng.*, 2007. Vol. 27. No. 7. P. 1144–1149. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2006.02.037.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-79-10363).

¹Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, grigorij-bivol@yandex.ru

²Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, golovastov@yandex.ru

³Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, golub@ihed.ras.ru

⁴Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, taliamarks@list.ru

⁵Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, elyanov14@physics.msu.ru

⁶Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, kulshovfs179@gmail.com

⁷Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, mikushkin-anton@yandex.ru

⁸Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, ancher_1@mail.ru

11. Кулешов Ф. С., Головастов С. В., Бивол Г. Ю. Влияние пористой полиуретановой перегородки на гидравлические характеристики потока и на распространение фронта пламени в открытом канале // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия Естественные науки, 2022. № 3(102). С. 110–123. doi: 10.18698/1812-3368-2022-3-110-123.
12. Krittacom B., Kamiuto K. Radiation emission characteristics of an open-cellular porous burner // J. Therm. Sci. Tech. — Jpn., 2009. Vol. 4. No. 1. P. 13–24. doi: 10.1299/jtst.4.13.
13. Dai H., Wang X., Chen X., Nan X., Hu Y., He S., Yuan B., Zhao Q., Dong Zh., Yang P. Suppression characteristics of double-layer wire mesh on wheat dust flame // Powder Technol., 2020. Vol. 360. P. 231–240. doi: 10.1016/j.powtec.2019.09.077.
14. Cheng F., Lu J., Li T., Luo Z. Study on the influence of obstacle on the flame behaviors of methane/air in a semi-confined pipe with wire mesh installed // J. Loss Prevent. Proc., 2022. Vol. 78. P. 104826. doi: 10.1016/j.jlp.2022.104826.
15. Shao H., Wang C., Yu H. Effect of copper foam on explosion suppression at different positions in the pipe // Powder Technol., 2020. Vol. 360. P. 695–703. doi: 10.1016/j.powtec.2019.09.078.
16. Wan Y., Wang C., Li Q., Luo X. Experimental study of premixed hydrogen–air flame quenching in a channel with the perforated plate // Fuel, 2020. Vol. 263. P. 116733. doi: 10.1016/j.fuel.2019.116733.
17. Wen X., Guo Zh., Wang F., Pan R., Liu Zh., Zhang X. Experimental study on the quenching process of methane/air deflagration flame with porous media // J. Loss Prevent. Proc., 2020. Vol. 65. P. 104121. doi: 10.1016/j.jlp.2020.104121.
18. Duan Y., Wang S., Yang Y., Li Y. Experimental study on explosion of premixed methane–air with different porosity and distance from ignition position // Combust. Sci. Technol., 2021. Vol. 193. No. 12. P. 2070–2084. doi: 10.1080/00102202.2020.1727900.
19. Wang J., Liu G., Zheng L., Pan R., Lu C., Wang Y., Fan Z., Zhao Y. Effect of opening blockage ratio on the characteristics of methane/air explosion suppressed by porous media // Process Saf. Environ., 2022. Vol. 164. P. 129–141. doi: 10.1016/j.psep.2022.06.008.
20. Joo H. I., Duncan K., Ciccarelli G. Flame-quenching performance of ceramic foam // Combust. Sci. Technol., 2006. Vol. 178. No. 10–11. P. 1755–1769. doi: 10.1080/00102200600788692.
21. Yu Y., Zhang J., Wan J., Wang D. Flame propagation behavior of propane–air premixed combustion in a confined space with two perforated plates at different initial pressures // Energy Sci. Eng., 2022. Vol. 10. P. 2940–2953. doi: 10.1002/ese3.1180.
22. Jin K., Wang Q., Duan Q., Sun J. Effect of single-layer wire mesh on premixed methane/air flame dynamics in a closed pipe // Int. J. Hydrogen Energ., 2020. Vol. 45. No. 56. P. 32664–32675. doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.08.159.
23. Tropin D., Temerbekov V. Numerical simulation of detonation wave propagation through a rigid permeable barrier // Int. J. Hydrogen Energ., 2022. Vol. 47. No. 87. P. 37106–37124. doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.08.256.
24. Bedarev I. A., Temerbekov V. M. Modeling of attenuation and suppression of cellular detonation in the hydrogen–air mixture by circular obstacles // Int. J. Hydrogen Energ., 2022. Vol. 47. No. 90. P. 38455–38467. doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.08.307.
25. Lewis B., Elbe G. Combustion, flames and explosions of gases. — Orlando, FL, USA: Academic Press Inc., 1987. 738 p.
26. Kumar R. K., Tamm H. Turbulent combustion of hydrogen in large volumes // Can. J. Chem. Eng., 1985. Vol. 63. No. 4. P. 662–667. doi: 10.1002/cjce.5450630420.
27. Moen I. O., Donato M., Knystautas R., Lee J. H. Flame acceleration due to turbulence produced by obstacles // Combust. Flame, 1980. Vol. 39. No. 1. P. 21–32. doi: 10.1016/0010-2180(80)90003-6.
28. Golovastov S. V., Bivol G. Y., Kuleshov F. S., Golub V. V. Influence of polyurethane foam on flame front propagation of hydrogen–air and acetylene–air mixtures in an open channel // J. Loss. Prevent. Proc., 2022. Vol. 77. P. 104786. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104786>.
29. Добрего К. В., Жданок С. А. Физика фильтрационного горения газов. — Минск: Ин-т тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАНБ, 2002. 203 с.

Поступила в редакцию 17.03.2023