

О КРИТЕРИЯХ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ ВОДОРОДА ПРИ ЕГО ИСТЕЧЕНИИ ИЗ БАЛЛОНА ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

А. Е. Смыгалина¹, А. Д. Киверин²

Аннотация: Представлены результаты численного моделирования истечения сильно сжатого водорода в воздух с последующим самовоспламенением. Рассмотрены две постановки задачи: истечение через щель из трубы/баллона в пространство с преградой и истечение через две щели, разнесенные в пространстве. Моделирование проводилось в двумерной постановке в декартовых координатах. В рамках первой постановки варьировались начальное давление водорода и расстояние до преграды, полуширина щели составляла 1 мм. В рамках второй постановки варьировались размеры щелей и расстояние между ними, начальное давление водорода составляло 350 атм. Показано, что указанные параметры задачи определяют режимы истечения водорода: с воспламенением и без воспламенения. В первой постановке наблюдаются два режима истечения с воспламенением: до подхода струи к стенке и в результате отражения потока от нее. Полученные результаты могут представлять интерес для разработки систем безопасного использования водорода.

Ключевые слова: водород; струйное истечение; самовоспламенение; критерии самовоспламенения; математическое моделирование

DOI: 10.30826/CE23160301

EDN: FGVUUN

Литература

1. *Wolanski P., Wojcicki S.* Investigation into the mechanism of the diffusion ignition of a combustible gas flowing into an oxidizing atmosphere // *P. Combust. Inst.*, 1973. Vol. 14. P. 1217–1223.
2. *Lee H. J., Park J. H., Kim S. D., Kim S., Jeung I. S.* Numerical study on the spontaneous-ignition features of high-pressure hydrogen released through a tube with burst conditions // *P. Combust. Inst.*, 2015. Vol. 35. No. 2. P. 2173–2180. doi: 10.1016/j.proci.2014.07.055.
3. *Xu X., Jiang J., Jiang Y., Wang Z., Wang Q., Yan W., Pan X.* Spontaneous ignition of high-pressure hydrogen and boundary layer characteristics in tubes // *Int. J. Hydrogen Energ.*, 2020. Vol. 45. No. 39. P. 20515–20524. doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.02.060.
4. *Gong L., Duan Q., Liu J., Li M., Jin K., Sun J.* Experimental investigation on effects of CO₂ additions on spontaneous ignition of high-pressure hydrogen during its sudden release into a tube // *Int. J. Hydrogen Energ.*, 2019. Vol. 44. No. 13. P. 7041–7048. doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.01.197.
5. *Golovastov S. V., Bocharnikov V. M., Samoilova A. A.* Experimental investigation of influence of methane additions on spontaneous self-ignition of pulsed jet of hydrogen // *Int. J. Hydrogen Energ.*, 2016. Vol. 41. No. 30. P. 13322–13328. doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.06.148.
6. *Wen J. X., Xu B. P., Tam V. H. Y.* Numerical study on spontaneous ignition of pressurized hydrogen release through a length of tube // *Combust. Flame*, 2009. Vol. 156. No. 11. P. 2173–2189. doi: 10.1016/j.combustflame.2009.06.012.
7. *Wang Z., Pan X., Jiang Y., Wang Q., Yan W., Xiao J., Jordan T., Jiang J.* Experiment study on the pressure and flame characteristics induced by high-pressure hydrogen spontaneous ignition // *Int. J. Hydrogen Energ.*, 2020. Vol. 45. No. 35. P. 18042–18056. doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.04.051.
8. *Golub V. V., Baklanov D. I., Bazhenova T. V., Bragin M. V., Golovastov S. V., Ivanov M. F., Volodin V. V.* Shock-induced ignition of hydrogen gas during accidental or technical opening of high-pressure tanks // *J. Loss Prevent. Proc.*, 2007. Vol. 20. No. 4–6. P. 439–446. doi: 10.1016/j.jlp.2007.03.014.
9. *Голуб В. В., Баженова Т. В., Ласкин И. Н., Сёмин Н. В.* Диффузионное самовоспламенение водорода, возникающее при истечении его из блока сопел // *Письма в ЖТФ*, 2009. Т. 35. № 5. С. 8–13.
10. *Белоцерковский О. М., Давыдов Ю. М.* Метод крупных частиц в газовой динамике. — М.: Наука, 1982. 392 с.
11. *O'Conaire M., Curran H. J., Simmie J. M., Pitz W. J., Westbrook C. K.* A comprehensive modeling study of hydrogen oxidation // *Int. J. Chem. Kinet.*, 2004. Vol. 36. No. 11. P. 603–622. doi: 10.1002/kin.20036.
12. *Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р.* Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / Пер. с англ. — М.: Физматлит, 2006. 352 с. (*Warnatz J., Maas U., Dibble R. W.* Combustion. Physical and chemical fundamentals, modeling and simulations, experiments, pollutant formation. — New York, NY, USA: Springer, 2001. 378 p.)

Поступила в редакцию 06.12.2022

¹Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, smygalina-anna@yandex.ru

²Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, alexeykiverin@gmail.com