

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ВОДОРОДА С ВОЗДУХОМ И ЕГО ГОРЕНИЕ ПРИ ПОДАЧЕ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ В КАМЕРУ СГОРАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ

А. Е. Смыгалина¹, А. Д. Киверин²

Аннотация: Представлены результаты численного моделирования процессов перемешивания водорода с воздухом при прямой подаче водорода под высоким давлением в камеру сгорания (КС) двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и последующего горения при воспламенении от искры. Рассматриваются две постановки задачи. В рамках первой постановки объем КС неизменен и соответствует КС двигателя малого объема, т. е. при положении поршня в верхней мертвой точке (ВМТ). В такую камеру осуществляется впрыск водорода под давлением 700 атм через 6 щелей суммарной ширины 1,8 мм. Время полного перемешивания составило около 25 мс, а время сгорания — 1 мс, недогорание водорода при этом оказалось равным 9,5%. В рамках второй постановки осуществляется впрыск водорода в цилиндр двигателя с размерами, близкими к размерам реального двигателя, в начале такта сжатия через щелевое пространство шириной 1,6 мм. Варьировалось давление впрыска: 20, 60, 100 и 140 атм. Показано, что перемешивание осуществляется наиболее полно при использовании относительно низких давлений — 20–100 атм. Полученные количественные оценки указывают на возможные пути оптимизации системы прямой подачи водорода в камеру сгорания ДВС.

Ключевые слова: водород; перемешивание; прямой впрыск; двигатель с искровым зажиганием; численное моделирование

DOI: 10.30826/CE24170106

EDN: PDCNPG

Литература

1. Babayev R., Andersson A., Dalmau A. S., Im H. G., Johansson B. Computational characterization of hydrogen direct injection and nonpremixed combustion in a compression-ignition engine // *Int. J. Hydrogen Energ.*, 2021. Vol. 46. No. 35. P. 18678–18696. doi: 10.1016/j.ijhydene.2021.02.223.
2. Park C., Kim Y., Oh S., Oh J., Choi Y., Baek H., Lee S. W., Lee K. Effect of fuel injection timing and injection pressure on performance in a hydrogen direct injection engine // *Int. J. Hydrogen Energ.*, 2022. Vol. 47. No. 50. P. 21552–21564. doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.04.274.
3. Addepalli S. K., Pei Y., Zhang Y., Scarcelli R. Multi-dimensional modeling of mixture preparation in a direct injection engine fueled with gaseous hydrogen // *Int. J. Hydrogen Energ.*, 2022. Vol. 47. No. 67. P. 29085–29101. doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.06.182.
4. Wei H., Hu Z., Ma J., Ma W., Yuan S., Hu Y., Hu K., Zhou L., Wei H. Experimental study of thermal efficiency and NOx emission of turbocharged direct injection hydrogen engine based on a high injection pressure // *Int. J. Hydrogen Energ.*, 2023. Vol. 48. No. 34. P. 12905–12916. doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.12.031.
5. Yosri M., Palulli R., Talei M., Mortimer J., Poursadegh F., Yang Y., Brear M. Numerical investigation of a large bore, direct injection, spark ignition, hydrogen-fuelled engine // *Int. J. Hydrogen Energ.*, 2023. Vol. 48. No. 46. P. 17689–17702. doi: 10.1016/j.ijhydene.2023.01.228.
6. Wu B., Torelli R., Pei Y. Numerical modeling of hydrogen mixing in a direct-injection engine fueled with gaseous hydrogen // *Fuel*, 2023. Vol. 341. 127725. doi: 10.1016/j.fuel.2023.127725.
7. Zhang S.-W., Sun B.-G., Lin S.-L., Li Q., Wu X., Hu T., Bao L.-Z., Wang X., Luo Q. Energy and exergy analysis for a turbocharged direct-injection hydrogen engine to achieve efficient and high-economy performances // *Int. J. Hydrogen Energ.*, 2024. Vol. 54. P. 601–612. doi: 10.1016/j.ijhydene.2023.04.038.
8. Heywood J. B. *Internal combustion engine fundamentals*. — New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1988. 930 p.
9. 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.)*

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

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

10. *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.
11. *Белоцерковский О. М., Давыдов Ю. М.* Метод крупных частиц в газовой динамике. — М.: Наука, 1982. 392 с.
12. *Ivanov M. F., Kiverin A. D., Yakovenko I. S., Liberman M. A.* Hydrogen–oxygen flame acceleration and deflagration-to-detonation transition in three-dimensional rectangular channels with no-slip walls // *Int. J. Hydrogen Energ.*, 2013. Vol. 38. No. 36. P. 16427–16440. doi: 10.1016/j.ijhydene.2013.08.124.

Поступила в редакцию 05.12.2023