

ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ДЕТОНАЦИИ В СМЕСЯХ СИНТЕЗ-ГАЗ–ВОЗДУХ*

А. В. Троцюк

Институт гидродинамики Сибирского отделения Российской академии наук им М. А. Лаврентьева

Аннотация: Проведено двумерное численное моделирование для изучения возможности сжигания смеси синтез-газа с воздухом в режиме непрерывно вращающейся детонации в цилиндрической детонационной камере (ДК) ракетного типа. Предварительно перемешанная газовая смесь подается через систему микросопел на закрытом торце камеры. В работе рассматривался синтез-газ $(1 - \alpha)\text{CO} + \alpha\text{H}_2$, представляющий собой бинарную смесь водорода H_2 и монооксида углерода CO . Исследованы как глобальная структура течения в канале ДК в режиме непрерывного вращения с одной поперечной детонационной волной, так и детальная структура фронта данной волны. Получена по крайней мере одна область существования устойчивого непрерывного режима вращающейся детонации в координатах «давление торможения p_m – температура торможения T_m » в нагнетательном коллекторе (ресивере). Показано влияние длины ДК на устойчивость детонационного режима. Найдены минимальные значения длины и радиуса ДК для устойчивой вращающейся детонации для некоторых комбинаций значения p_m – T_m .

Ключевые слова: двухтопливная смесь; синтез-газ; детонационная кинетика; непрерывная детонация; ячейка

DOI: 10.30826/CE22150408

EDN: LXWZKJ

Литература

1. Ждан С. А., Быковский Ф. А., Ведерников Е. Ф. Математическое моделирование вращающейся волны детонации в водородно-кислородной смеси // *Физика горения и взрыва*, 2007. Т. 43. № 4. С. 90–101. EDN: OEELVP.
2. Быковский, Ф. А., Ждан С. А. Непрерывная спиновая детонация. — Новосибирск: Ин-т гидродинамики им. М. А. Лаврентьева, 2013. 422 с.
3. Берлянд А. Т., Власенко В. В., Свищев С. В. Стационарные и нестационарные волновые структуры, возникающие при стабилизации детонации над поверхностью сжатия // *Физика горения и взрыва*, 2001. Т. 37. № 1. С. 94–111. EDN: ONVUQP.
4. Троцюк А. В., Фомин П. А. Моделирование нерегулярной ячеистой структуры детонационной волны в двухтопливной смеси // *Физика горения и взрыва*, 2019. Т. 55. № 4. С. 15–20. doi: 10.15372/FGV20190402. EDN: SBQALK.
5. Trotsyuk A. V., Fomin P. A. Multi-front detonation structure in two-fuel mixtures — numerical modeling // *J. Phys. Conf. Ser.*, 2020. Vol. 1666. P. 012070. 7 p. doi: 10.1088/1742-6596/1666/1/012070.
6. Austin J. M., Shepherd J. E. Detonation in hydrocarbon fuel blends // *Combust. Flame*, 2003. Vol. 132. No. 1-2. P. 73–90. doi: 10.1016/S0010-2180(02)00422-4.
7. Троцюк А. В. Численное моделирование структуры двумерной газовой детонации смеси H_2 – O_2 – Ar // *Физика горения и взрыва*, 1999. Т. 35. № 5. С. 93–103. EDN: YGBAHV.
8. Fomin P. A., Trotsyuk A. V., Vasil'ev A. A. Numerical study of cellular detonation structures of methane mixtures // *J. Loss Prevent. Proc.*, 2015. Vol. 36. P. 394–403. doi: 10.1016/j.jlp.2015.03.012.
9. Shao Ye-Tao, Wang Jian-Ping. Three dimensional simulation of rotating detonation engine without inner wall // 23rd ICDERS, 2011. — Irvine, CA, USA. <http://www.icders.org/ICDERS2011/abstracts/ICDERS2011-0107.pdf>.
10. Liu Shi-Jie, Lin Zhi-Yong, Liu Wei-Dong, Lin Wei, Sun Ming-Bo. Experimental and three-dimensional numerical investigations on H_2 /air continuous rotating detonation wave // *P. I. Mech. Eng. G — J. Aer.*, 2012. Vol. 227. No. 2. P. 326–341. doi: 10.1177/0954410011433542.
11. Фролов С. М., Дубровский А. В., Иванов В. С. Трехмерное численное моделирование рабочего процесса в камере сгорания с непрерывной детонацией // *Хим. физика*, 2012. Т. 31. № 3. С. 32–45.
12. Smirnov N. N., Nikitin V. F., Stamov L. I., Mikhanchenko E. V., Tyurenkova V. V. Three-dimensional modeling of rotating detonation in a ramjet engine // *Acta Astronaut.*, 2019. Vol. 163. P. 168–176. doi: 10.1016/j.actaastro.2019.02.016.
13. Zhang Li-Feng, Ma John Z., Zhang Shu-Jie, Luan Ming-Yi, Wang Jian-Ping. Three-dimensional numerical study on rotating detonation engines using reactive Navier–Stokes equations // *Aerosp. Sci. Technol.*, 2019. Vol. 93. P. 105271. doi: 10.1016/j.ast.2019.07.004.

* Данное исследование поддержано грантом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075015020200806 от 29.09.2020). Вычисления проведены с использованием комплекса MVS010Q в МСЦ РАН, Москва. 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.

14. *Shaw I. J., Kildare J. A. C., Evans M. J., Chinnici A., Sparks C. A. M., Rubaiyat S. N. H., Chin R. C., Medwell P. R.* A theoretical review of rotating detonation engines // Direct numerical simulations — an introduction and applications / Ed. Srinivasa Rao. — IntechOpen, 2019. doi: 10.5772/intechopen.90470.
15. *Войцеховский Б. В.* Стационарная детонация // Докл. Акад. наук СССР, 1959. Т. 129. № 6. С. 1254–1256.
16. *Войцеховский Б. В., Митрофанов В. В., Топчиян М. Е.* Структура фронта детонации в газах. — Новосибирск: Изд-во СО АН СССР. 1963. 168 с.
17. *Trotsyuk A. V.* Numerical study of multifront structure of a classical and continuous rotating detonation waves in methane mixtures // Progress in detonation physics / Eds. G. D. Roy and S. M. Frolov. — Moscow: TORUS PRESS, 2016. P. 136–147.
18. *Ждан С. А., Быковский Ф. А., Ведерников Е. Ф.* Непрерывная многофронтная детонация смеси метан — нагретый воздух в кольцевой камере сгорания // 11-я Всеросс. конф. с междунар. участием «Горение топлива: теория, эксперимент, приложения». Абстракты. — Новосибирск: Изд-во ИТФ СО РАН, 2021. С. 41.

Поступила в редакцию 05.05.2022