

НАЧАЛЬНАЯ СТАДИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В НЕПРЕРЫВНО-ДЕТОНАЦИОННОМ ДВИГАТЕЛЕ*

И. О. Шамшин¹, В. С. Иванов², В. С. Аксёнов³, П. А. Гусев⁴, С. М. Фролов⁵

Аннотация: Определены условия мягкого инициирования детонации гомогенных стехиометрических этиленокислородных смесей, разбавленных азотом до $\sim 40\%$, в полуограниченной плоской щелевой камере сгорания шириной $5,0 \pm 0,4$ мм, имитирующей кольцевую камеру сгорания непрерывно-детонационного двигателя (НДД). Оказалось, что для мягкого инициирования детонации необходимо зажигать смесь по достижении предельной (минимальной) высоты слоя взрывчатой смеси. Для мягкого инициирования детонации в смеси $C_2H_4 + 3O_2$, заполняющей такой щелевой зазор, высота слоя смеси должна превышать ширину зазора приблизительно в 10 раз, а для смеси $C_2H_4 + 3(O_2 + 2/5 N_2)$ — приблизительно в 60 раз. По сравнению с поперечным размером детонационной ячейки λ минимальная высота слоя таких смесей в экспериментах составила $\sim 130\lambda$ и $\sim 320\lambda$ соответственно. Также показано, что для мягкого инициирования детонации в НДД требуется заполнение камеры сгорания на высоту, как минимум в 4 раза превышающую высоту детонационных волн, непрерывно вращающихся в камере сгорания НДД в установившемся режиме работы двигателя.

Ключевые слова: непрерывно-детонационный двигатель; запуск двигателя; переход горения в детонацию; этиленокислородная смесь; минимальная высота слоя

DOI: 10.30826/CE22150407

EDN: KALBDK

Литература

1. Дубровский А. В., Иванов В. С., Фролов С. М. Трехмерное численное моделирование рабочего процесса в непрерывно-детонационной камере сгорания с раздельной подачей водорода и воздуха // Хим. физика, 2015. Т. 34. № 2. С. 65–81.
2. Shamshin I. O., Ivanov V. S., Aksenov V. S., Gusev P. A., Frolov S. M. Experimental study of the initial stage of the operation process in detonation rocket and air-breathing engines // Advances in detonation research / Ed. S. M. Frolov. — Moscow: TORUS PRESS, 2022. P. 17–20. doi: 10.30826/ICPCD13A07.
3. Войцеховский Б. В. Стационарная детонация // Докл. Акад. наук СССР, 1959. Т. 129. № 6. С. 1254–1256.
4. Sommers W. P., Morrison R. B. Simulation of condensed-explosive detonation phenomena with gases // Phys. Fluids, 1962. Vol. 5. P. 241–248. doi: 10.1063/1.1706602.
5. Dabora E. K., Nicholls J. A., Morrison R. B. The influence of a compressible boundary on the propagation of gaseous detonations // Symposium (International) on Combustion, 1965. Vol. 10. No. 1. P. 817–830. doi: 10.1016/s0082-0784(65)80225-9.
6. Adams, T. G. Do weak detonation waves exist? // AIAA J., 1978. Vol. 16. No. 10. P. 1035–1040. doi: 10.2514/3.61001.
7. Иванов М. Ф., Фортков В. Е., Борисов А. А. Численное моделирование развития детонации в газовых объемах конечной толщины // Физика горения и взрыва, 1981. № 3. С. 108–116.
8. Rudy W., Kuznetsov M., Porowski R., Teodorczyk A., Grune J., Sempert K. Critical conditions of hydrogen–air detonation in partially confined geometry // P. Combust. Inst., 2013. Vol. 34. No. 2. P. 1965–1972. doi: 10.1016/j.proci.2012.07.019.
9. Kuznetsov M., Yanez J., Grune J., Friedrich A., Jordan T. Hydrogen combustion in a flat semi-confined layer with respect to the Fukushima Daiichi accident // Nucl. Eng. Des., 2015. Vol. 286. P. 36–48. doi: 10.1016/j.nucengdes.2015.01.016.
10. Li J., Mi X., Higgins A. J. Geometric scaling for a detonation wave governed by a pressure-dependent reaction rate and yielding confinement // Phys. Fluids, 2015. Vol. 27. No. 2. P. 027102. doi: 10.1063/1.4907267.
11. Reynaud M., Viot F., Chinnayya A. A computational study of the interaction of gaseous detonations with a compress-

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования (государственный контракт № 13.1902.21.0014, соглашение № 075-15-2020-806).

¹Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, igor_shamshin@mail.ru

²Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, ivanov.vls@gmail.com

³Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», v.aksenov@mail.ru

⁴Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, gusevPA@yandex.ru

⁵Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», smfrol@chph.ras.ru

- ible layer // *Phys. Fluids*, 2017. Vol. 29. P. 056101. doi: 10.1063/1.4982659.
12. Bykovskii F. A., Zhdan S. A., Vedernikov E. F. Continuous spin detonations // *J. Propul. Power*, 2006. Vol. 22. No. 6. P. 1204–1216. doi: 10.2514/1.17656.
 13. Grune J., Sempert K., Haberstroh H., Kuznetsov M., Jordan T. Experimental investigation of hydrogen–air deflagrations and detonations in semi-confined flat layers // *J. Loss Prevent. Proc.*, 2013. Vol. 26. No. 2. P. 317–323. doi: 10.1016/j.jlp.2011.09.008.
 14. Taguchi T., Yamaguchi M., Matsuoka K., et al. Investigation of reflective shuttling detonation cycle by schlieren and chemiluminescence photography // *Combust. Flame*, 2022. Vol. 236. P. 111826. doi: 10.1016/j.combustflame.2021.111826.
 15. Wu Ming-Hsun, Kuo Wei-Chun. Transmission of near-limit detonation wave through a planar sudden expansion in a narrow channel // *Combust. Flame*, 2012. Vol. 159. No. 11. P. 3414–3422. doi: 10.1016/j.combustflame.2012.06.006.
 16. Matsui H., Lee J. H. On the measure of the relative detonation hazards of gaseous fuel–oxygen and air mixtures // *Symposium (International) on Combustion*, 1979. Vol. 17. No. 1. P. 1269–1280. doi: 10.1016/S0082-0784(79)80120-4.
 17. Moen I. O., Donato M., Knystautas R., Lee J. H. The influence of confinement on the propagation of detonations near the detonability limits // *Symposium (International) on Combustion*, 1981. Vol. 18. No. 1. P. 1615–1622. doi: 10.1016/S0082-0784(81)80165-8.
 18. Kawasaki A., Kasahara J. A novel characteristic length of detonation relevant to supercritical diffraction // *Shock Waves*, 2020. Vol. 30. P. 1–12. doi: 10.1007/s00193-019-00890-7.

Поступила в редакцию 01.11.2022