

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА В ОТРАЖЕННЫХ УДАРНЫХ ВОЛНАХ\*

П. А. Власов<sup>1</sup>, В. Н. Смирнов<sup>2</sup>, О. Б. Рябиков<sup>3</sup>, А. Р. Ахуньянов<sup>4</sup>

**Аннотация:** Проведены экспериментальные измерения временных зависимостей сигналов поглощения гидроксильными радикалами  $\text{OH}$  ( $\lambda = 306,77$  нм, переход  $A^2\Sigma^+ \rightarrow X^2\Pi$ ) и излучения (эмиссии) электронно-возбужденных гидроксильных радикалов  $\text{OH}^*$  ( $\lambda = 310 \pm 4$  нм). Из этих измерений определены задержки воспламенения (по максимуму хемилюминесцентного излучения  $\text{OH}^*$ ) и построены температурные зависимости задержек воспламенения для различных исследованных смесей  $\text{H}_2/\text{CO}/\text{O}_2/\text{Ar}$ . Проведены детальные кинетические расчеты профилей электронно-возбужденных частиц  $\text{OH}^*$  и их сравнение с экспериментально измеренными профилями для уточнения механизмов электронного возбуждения и тушения этих частиц. Проведены кинетические расчеты задержек воспламенения для различных исследованных смесей  $\text{H}_2/\text{CO}/\text{O}_2/\text{Ar}$  с учетом непостоянства давления за фронтом отраженной ударной волны. Учет этого эффекта позволил существенно улучшить согласование расчетных и экспериментально измеренных задержек воспламенения.

**Ключевые слова:** кинетика воспламенения водородно-кислородных смесей и синтез-газа; задержки воспламенения; хемилюминесцентное излучение гидроксильных радикалов; численное моделирование; ударная труба; отраженные ударные волны

DOI: 10.30826/CE20130101

## Литература

1. Arutyunov V. Direct methane to methanol: Foundations and prospects of the process. — Amsterdam, The Netherlands: Elsevier B.V., 2014. 309 p.
2. Neathery J., Gray D., Challman D., Derbyshire F. The pioneer plant concept: Co-production of electricity and added-value products from coal // Fuel, 1999. Vol. 78(7). P. 815–823.
3. Chiesa P., Consonni S., Kreutz T., Williams R. Co-production of hydrogen, electricity and  $\text{CO}_2$  from coal with commercially ready technology. Part A: Performance and emissions // Int. J. Hydrogen Energ., 2005. Vol. 30(7). P. 747–767.
4. Walton S. M., He X., Zigler B. T., Wooldridge M. S. An experimental investigation of the ignition properties of hydrogen and carbon monoxide mixtures for syngas turbine applications // P. Combust. Inst., 2007. Vol. 31. P. 3147–3154.
5. Гейдон А., Герл И. Ударная труба в химической физике высоких температур / Пер. с англ. — М.: Мир, 1966. 427 с. (Gaydon A. G., Hurler I. R. The shock tube in high-temperature chemical physics. — London: Chapman and Hall, 1963. 326 p.)
6. Власов П. А., Смирнов В. Н., Тереза А. М. Реакции инициирования самовоспламенения смесей  $\text{H}_2\text{—O}_2$  в ударных волнах // Хим. физика, 2016. Т. 35. № 6. С. 35–48.
7. Власов П. А., Демиденко Т. С., Смирнов В. Н., Тереза А. М., Аткин Э. В. Хемилюминесцентное свечение  $\text{CH}^*$ ,  $\text{C}_2^*$ ,  $\text{OH}^*$ ,  $\text{CO}_2^*$  при воспламенении этана за отраженными ударными волнами // Хим. физика, 2016. Т. 35. № 11. С. 54–61.
8. Olm C., Zsély I., Pálvölgyi R., Varga T., Nagy T., Curran H. J., Turányi T. Comparison of the performance of several recent hydrogen combustion mechanisms // Combust. Flame, 2014. Vol. 161. No. 9. P. 2219–2234.
9. Smith G. P., Golden D. M., Frenklach M., Moriarty N. W., Eiteneer B., Goldenberg M., Bowman C. T., Hanson R. K., Song S., Gardiner W. J., Jr., Lissianski V. V., Qin Z. GRI–Mech 3.0 Reaction Mechanism. 2002. [http://www.me.berkeley.edu/gri\\_mech/](http://www.me.berkeley.edu/gri_mech/).
10. Healy D., Kalitan D. M., Aul C. J., Petersen E. L., Bourque G., Curran H. J. Oxidation of  $\text{C}_1\text{—C}_5$  alkane quaternary natural gas mixtures at high pressures // Energ. Fuel., 2010. Vol. 24. No. 3. P. 1521–1528.
11. Kéromnès A., Metcalfe W. K., Heufer K. A., Donohoe N., Das A. K., Sung C. J., Herzler J., Naumann C., Griebel P., Mathieu O., Krejci M. C., Petersen E. L., Pitz W. J., Curran H. J. An experimental and detailed chemical kinetic modelling study of hydrogen and syngas mixtures at elevated pressures // Combust. Flame, 2013. Vol. 160. No. 6. P. 995–1011.
12. Власов П. А., Смирнов В. Н., Рябиков О. Б., Богатова А. С., Ахуньянов А. Р. Самовоспламенение смесей

\*Работа выполнена в рамках Программы ФНИ государственных Академий наук ФИЦ ХФ РАН по теме «Химические аспекты энергетики; моделирование процессов окисления и горения», номер темы 47.16.

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, iz@chph.ras.ru

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, vns1951@yandex.ru

<sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, zaslono@chph.ras.ru

<sup>4</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», iz@chph.ras.ru

- $H_2/O_2$  и  $H_2/O_2/CO$  в отраженных ударных волнах // Горение и взрыв, 2019. Т. 12. № 3. С. 4–13.
13. *Metcalf W. K., Burke S. M., Ahmed S. S., Curran H. J.* A hierarchical and comparative kinetic modeling study of  $C_1$ – $C_2$  hydrocarbon and oxygenated fuels // *Int. J. Chem. Kinet.*, 2013. Vol. 45. No. 10. P. 638–675.
14. *Herzler J., Naumann C.* Shock tube study of the ignition of lean  $CO/H_2$  fuel blends at intermediate temperatures and high pressure // *Combust. Sci. Technol.*, 2008. Vol. 180. No. 10-11. P. 2015–2028.
15. *Hashemi H., Christensen J. M., Gersen S., Levinsky H., Klippenstein S. J., Glarborg P.* High-pressure oxidation of methane // *Combust. Flame*, 2016. Vol. 172. P. 349–364.

Поступила в редакцию 19.10.2019