

## ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ПРИ ЛОКАЛЬНО-НЕОДНОРОДНОМ САМОВОСПЛАМЕНЕНИИ ГОРЮЧИХ СМЕСЕЙ ЗА УДАРНОЙ ВОЛНОЙ\*

М. А. Котов<sup>1</sup>, П. В. Козлов<sup>2</sup>, Г. Я. Герасимов<sup>3</sup>, В. Ю. Левашов<sup>4</sup>, Н. Г. Соловьев<sup>5</sup>,  
А. Н. Шемякин<sup>6</sup>, М. Ю. Якимов<sup>7</sup>, В. Н. Глебов<sup>8</sup>, Г. А. Дуброва<sup>9</sup>, А. М. Малютин<sup>10</sup>

**Аннотация:** Проведено экспериментальное исследование по регистрации теплового потока от самовоспламенения ударно-нагретых газообразных смесей с помощью термоэлектрического детектора. Эффективность метода продемонстрирована на примере самовоспламенения пропановоздушной, пропан-пропилен-кислородно-аргонной смесей за отраженной ударной волной. Проанализированы временные зависимости сигналов от пьезоэлектрического датчика давления, термоэлектрического детектора и оптических каналов, настроенных на регистрацию излучения электронно-возбужденных радикалов  $\text{OH}^*$ ,  $\text{CH}^*$  и молекул  $\text{C}_2$ . Показаны зоны локально-неоднородного самовоспламенения и горения газовых смесей. Продемонстрирована возможность измерения коротких времен задержки самовоспламенения газовых смесей (микросекунды и меньше).

**Ключевые слова:** тепловой поток; горючая смесь; задержки самовоспламенения; пропан; пропилен; термоэлектрический детектор

**DOI:** 10.30826/CE25180206

**EDN:** LGYFAX

### Литература

1. *Hanson R. K., Davidson D. F.* Recent advances in laser absorption and shock tube methods for studies of combustion chemistry // *Prog. Energ. Combust.*, 2014. Vol. 44. P. 103–114.
2. *Experimental methods of shock wave research* / Eds. O. Igra, F. Seiler. — Springer, 2016. 488 p.
3. *Reynier P.* Survey of high-enthalpy shock facilities in the perspective of radiation and chemical kinetics investigations // *Prog. Aerosp. Sci.*, 2016. Vol. 85. P. 1–32.
4. *Tian Ye, Yang S., Xiao B., et al.* Investigation of ignition characteristics in a kerosene fueled supersonic combustor // *Acta Astronaut.*, 2019. Vol. 161. P. 425–429.
5. *Gautam Ch., Yuvarajan D., Wei H., et al.* Hydrogen fuel in scramjet engines — a brief review // *Int. J. Hydrogen Energ.*, 2020. Vol. 45. No. 33. P. 16799–16815.
6. *Yang K., Pan Yu, Wang Z.-G., et al.* Experimental investigation of the ignition characteristics of vaporized RP-3 kerosene in supersonic flow // *Acta Astronaut.*, 2020. Vol. 174. P. 1–10.
7. *Smirnov N. N., Penyazkov O. G., Sevrouk K. L., et al.* Onset of detonation in hydrogen–air mixtures due to shock wave reflection inside a combustion chamber // *Acta Astronaut.*, 2018. Vol. 149. P. 77–92.
8. *Elkarous L., Coghe F., Pirlot M., Govinval J. C.* Experimental techniques for ballistic pressure measurements and recent development in means of calibration // *J. Phys. Conf. Ser.*, 2013. Vol. 459. P. 012048.
9. *Tereza A. M., Medvedev S. P., Smirnov V. N.* Experimental study and numerical simulation of chemiluminescence emission during the self-ignition of hydrocarbon fuels // *Acta Astronaut.*, 2019. Vol. 163(A). P. 18–24.
10. *Kotov M. A., Shemyakin A. N., Solovyov N. G., et al.* Performance assessment of thermoelectric detector for heat flux measurement behind a reflected shock of low intensity // *Appl. Therm. Eng.*, 2021. Vol. 195. P. 117143.
11. *Котов М.А., Соловьев Н.Г., Шемякин А.Н. и др.* О принципах возникновения термоэдс при регистрации термоэлектрическим детектором тепловых

\* Работа выполнена в рамках государственного задания МГУ им. М. В. Ломоносова, Министерства науки и высшего образования РФ (номер госрегистрации 124012500440-9) и государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

<sup>1</sup>Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук; Институт механики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, kotov@ipmnet.ru

<sup>2</sup>Институт механики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, kalevala@mail.ru

<sup>3</sup>Институт механики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, gerasimov@imech.msu.ru

<sup>4</sup>Институт механики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, vyl69@mail.ru

<sup>5</sup>Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук, lantan.ltd@mail.ru

<sup>6</sup>Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук, shemyakin@lantanlaser.ru

<sup>7</sup>Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук, yakimov@lantanlaser.ru

<sup>8</sup>НИЦ «Курчатовский институт» КККиФ, Отделение ИПЛИТ-Шатура, glebovvn@ilit.ru

<sup>9</sup>НИЦ «Курчатовский институт» КККиФ, Отделение ИПЛИТ-Шатура, dgala@list.ru

<sup>10</sup>НИЦ «Курчатовский институт» КККиФ, Отделение ИПЛИТ-Шатура, ammalutin@rambler.ru

- потоков в импульсном газодинамическом эксперименте // Физико-химическая кинетика в газовой динамике, 2024. Т. 25. Вып. 3. С. 49–68.
12. *Kotov M. A., Kozlov P. V., Gerasimov G. Ya., et al.* Thermoelectric detector application for measuring the ignition delay time in a shock heated combustible mixture // *Acta Astronaut.*, 2023. Vol. 204. P. 787–793.
  13. *Козлов П. В., Котов М. А., Герасимов Г. Я., Левашов В. Ю., Быкова Н. Г., Забелинский И. Е.* Экспериментальное исследование воспламенения стехиометрической смеси пропилен–кислород–аргон за отраженной ударной волной // *Хим. физика*, 2024. Т. 43. № 8. С. 42–48. doi: 10.31857/S0207401X24080056. EDN: ATYGYM.
  14. *Ninnemann E., Koroglu B., Pryor O., et al.* New insights into the shock tube ignition of H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> at low to moderate temperatures using high-speed end-wall imaging // *Combust. Flame*, 2018. Vol. 187. P. 11–21.
  15. *Luong M. B., Im H. G.* Prediction of ignition modes in shock tubes relevant to engine conditions // *Engines and fuels for future transport* / Eds. G. Kalghatgi, A. K. Agarwal, F. Leach, K. Senecal. — Energy, environment, and sustainability ser. — Singapore: Springer, 2021. P. 369–393.
  16. *Gaseq: A Chemical Equilibrium Program for Windows.* <http://www.gaseq.co.uk/>.
  17. *Kotov M. A., Solovyev N., Glebov V., et al.* Pulse thermal load for thermoelectric detector calibration // *St. Petersburg State Polytechnical University J. Physics Mathematics*, 2023. Vol. 16. No. S1.1. P. 472–477.
  18. *Котов М. А., Козлов П. В., Левашов В. Ю. и др.* Регистрация радиационного теплового потока в ударной трубе с помощью термоэлектрического детектора // *Письма в ЖТФ*, 2023. Т. 49. Вып. 17. С. 36–38.
  19. *Филиппов Ф. В., Котов М. А., Соловьев Н. Г. и др.* Особенности калибровки термоэлектрического детектора с использованием импульсного лазерного воздействия // *Письма в ЖТФ*, 2024. Т. 50. Вып. 23. С. 50–53.

*Поступила в редакцию 29.11.2024*

*После доработки 10.02.2025*

*Принята к публикации 18.02.2025*