

СОПИРОЛИЗ ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА И ЭТАНА В УСЛОВИЯХ АДИАБАТИЧЕСКОГО СЖАТИЯ*

И. В. Билера¹

Аннотация: С помощью метода адиабатического сжатия исследован сопиरोлиз диметилового эфира (ДМЭ) и этана в диапазоне температур 970–1666 К и суммарных степеней превращения 0,26%–96,1%. Определены основные (водород, СО, метан, этилен, формальдегид, ацетилен) и второстепенные продукты реакции (в том числе оксигенаты: метанол, ацетальдегид, этанол, метоксиэтан). Состав смеси продуктов качественно совпадает с продуктами пиролиза ДМЭ и сопиролиза ДМЭ и метана, но заметно различается по выходам углеводородов. Добавка этана к ДМЭ ($\text{ДМЭ}/\text{C}_2\text{H}_6 = 2,5/2,0 \text{ \% (об.)}/\text{\% (об.)}$) приводит к снижению степени превращения ДМЭ, особенно при малых и средних степенях превращения. Обнаружено образование сажи при нагреве до максимальной температуры 1666 К при степени превращения более 96%.

Ключевые слова: ДМЭ; этан; пиролиз; адиабатическое сжатие; формальдегид; этилен; ацетилен; пропилен

DOI: 10.30826/CE20130403

Литература

1. Semelsberger T. A., Borup R. L., Greene H. L. Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel // *J. Power Sources*, 2006. Vol. 156. P. 497–511. doi: 10.1016/j.jpowsour.2005.05.082.
2. Park S. H., Lee C. S. Applicability of dimethyl ether (DME) in a compression ignition engine as an alternative fuel // *Energ. Convers. Manage.*, 2014. Vol. 86. P. 848–863. doi: 10.1016/j.enconman.2014.06.051.
3. Гайворонский А. И., Марков В. А., Илатовский Ю. В. Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях. — М.: ИРЦ Газпром, 2007. 480 с.
4. Ahmad Z., Kaario O., Karimkashi S., Qiang C., Vuorinen V., Larmi M. Effects of ethane addition on diesel–methane dual-fuel combustion in a heavy-duty engine // *Fuel*, 2021. Vol. 289. P. 119834. doi: 10.1016/j.fuel.2020.119834.
5. Burke U., Somers K. P., O'Toole P., Zinner C. M., Marquet N., Bourque G., Petersen E. L., Metcalfe W. K., Serinyel Z., Curran H. J. An ignition delay and kinetic modeling study of methane, dimethyl ether, and their mixtures at high pressures // *Combust. Flame*, 2015. Vol. 162. No. 2. P. 315–330. doi: 10.1016/j.combustflame.2014.08.014.
6. Hashemi H., Christensen J. M., Glarborg P. High-pressure pyrolysis and oxidation of DME and DME/CH₄ // *Combust. Flame*, 2019. Vol. 205. P. 80–92. doi: 10.1016/j.combustflame.2019.03.028.
7. Amano T., Dryer F. L. Effect of dimethyl ether, NO_x, and ethane on CH₄ oxidation: High pressure, intermediate-temperature experiments and modeling // *P. Combust. Inst.*, 1998. Vol. 27. P. 397–404. doi: 10.1016/S0082-0784(98)80428-1.
8. Sen F., Shu B., Kasper T., Herzler J., Welz O., Fikri M., Atakan B., Schulz C. Shock-tube and plug-flow reactor study of the oxidation of fuel-rich CH₄/O₂ mixtures enhanced with additives // *Combust. Flame*, 2016. Vol. 169. P. 307–320. doi: 10.1016/j.combustflame.2016.03.030.
9. Chen Z., Qin X., Ju Y., Zhao Z., Chaos M., Dryer F. L. High temperature ignition and combustion enhancement by dimethyl ether addition to methane–air mixtures // *P. Combust. Inst.*, 2007. Vol. 31. P. 1215–1222. doi: 10.1016/j.proci.2006.07.177.
10. Yu H., Hu E., Cheng Y., Zhang X., Huang Z. Experimental and numerical study of laminar premixed dimethyl ether/methane–air flame // *Fuel*, 2014. Vol. 136. P. 37–45. doi: 10.1016/j.fuel.2014.07.032.
11. Tang C., Wei L., Zhang J., Man Z., Huang Z. Shock tube measurement and kinetic investigation on the ignition delay times of methane/dimethyl ether mixtures // *Energ. Fuel*, 2012. Vol. 26. P. 6720–6728. doi: 10.1021/ef301339m.
12. Burcat A., Scheller K., Lifshitz A. Shock-tube investigation of comparative ignition delay times for C₁–C₅ alkanes // *Combust. Flame*, 1971. Vol. 16. No. 1. P. 29–33. doi: 10.1016/S0010-2180(71)80007-X.
13. Zhang J., Hu E., Zhang Z., Pan L., Huang Z. Comparative study on ignition delay times of C₁–C₄ alkanes // *Energ. Fuel*, 2013. Vol. 27. P. 3480–3487. doi: 10.1021/ef400496a.
14. Zhang J., Hu E., Pan L., Zhang Z., Huang Z. Shock-tube measurements of ignition delay times for the ethane/dimethyl ether blends // *Energ. Fuel*, 2013. Vol. 27. P. 6247–6254. doi: 10.1021/ef4017762.
15. Shi Z., Wu H., Zhang H., Wang Z., Lee C., Xue Y. Autoignition of DME/C₂H₆ mixtures under high-pressure

* Работа выполнена в рамках Государственного задания ИНХС РАН.

¹ Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева Российской академии наук, bilera@ips.ac.ru

- and low-temperature conditions // *Combust. Sci. Technol.*, 2019. Vol. 191. No. 7. P. 1201–1218. doi: 10.1080/00102202.2018.1517757.
16. Lu L., Zou C., Xia W., Lin Q., Shi H. Experimental and numerical study on the ignition delay times of dimethyl ether/ethane/oxygen/carbon dioxide mixtures // *Fuel*, 2020. Vol. 280. P. 118675. doi: 10.1016/j.fuel.2020.118675.
 17. Yoon S. S., Ahn D. H., Chung S. H. Synergistic effect of mixing dimethyl ether with methane, ethane, propane, and ethylene fuels on polycyclic aromatic hydrocarbon and soot formation // *Combust. Flame*, 2008. Vol. 154. No. 3. P. 368–377. doi: 10.1016/j.combustflame.2008.04.019.
 18. Song K. H., Nag P., Litzinger T. A., Haworth D. C. Effects of oxygenated additives on aromatic species in fuel-rich, premixed ethane combustion: A modeling study // *Combust. Flame*, 2003. Vol. 135. No. 3. P. 341–349. doi: 10.1016/S0010-2180(03)00180-9.
 19. Билера И. В., Хаджиев С. Н. Гомогенный пиролиз диметилового эфира в условиях адиабатического сжатия // *Горение и взрыв*, 2018. Т. 11. № 1. С. 27–34. doi: 10.30826/CE18110103.
 20. Билера И. В. Сопиролиз диметилового эфира и метана в условиях адиабатического сжатия // *Горение и взрыв*, 2019. Т. 12. № 2. С. 34–41. doi: 10.30826/CE19120205.
 21. Колбановский Ю. А., Щипачев В. С., Черняк Н. Я. и др. Импульсное сжатие газов в химии и технологии. — М.: Наука, 1982, 240 с.
 22. Зенкевич И. Г. Расчет индексов удерживания низкокипящих органических соединений различной химической природы на полимерном сорбенте Порапак Q // *Ж. аналит. химии*, 1998. Т. 53. № 9. С. 932–945.
 23. Билера И. В. Высокотемпературный гомогенный пиролиз этана в реакторе адиабатического сжатия // *Горение и взрыв*, 2017. Т. 10. № 2. С. 12–17.
 24. Арутюнов В. С., Магомедов Р. Н. Газофазный оксипиролиз легких алканов // *Успехи химии*, 2012. Т. 81. № 9. С. 790–822.
 25. Anderson K. H., Benson S. W. Termination products and processes in the pyrolysis of dimethyl ether // *J. Chem. Phys.*, 1962. Vol. 36. No. 9. P. 2320–2323. doi: 10.1063/1.1732883.
 26. Погосян Н. М., Погосян М. Дж., Стрекова Л. Н., Тавадян Л. А., Арутюнов В. С. Влияние концентраций метана и этилена на состав продуктов их совместного окисления // *Хим. физика*, 2015. Т. 34. № 3. С. 35–39. doi: 10.7868/S0207401X15030103.
 27. Hidaka Y., Sato K., Yamane M. High-temperature pyrolysis of dimethyl ether in shock waves // *Combust. Flame*, 2000. Vol. 123. No. 1. P. 1–22. doi: 10.1016/S0010-2180(00)00122-X.

Поступила в редакцию 05.11.2020