

# КОЛЛЕКТИВНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ВТОРИЧНЫХ ФРАГМЕНТОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ МИКРОВЗРЫВНОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТОПЛИВ\*

Д. В. Антонов<sup>1</sup>, Р. М. Федоренко<sup>2</sup>, П. А. Стрижак<sup>3</sup>

**Аннотация:** Микровзрывная фрагментация является ключевым явлением, на котором базируются современные методики вторичного измельчения композиционных топлив в промышленности. Реализация соответствующих процессов позволяет в кратное число раз (от 10–15 до 100–200 раз) уменьшить размер вторичных капель относительно начальных значений размеров родительских капель, формирующихся при распаде струй. В настоящем исследовании приведены результаты изучения коллективных эффектов при формировании вторичных фрагментов микровзрыва капель композиционных топлив. Проанализированы характеристики вторичных фрагментов при микровзрывной фрагментации группы из трех капель композиционных топлив. Использованы две топливные композиции: 90% дизельное топливо, 10% вода и 10% дизельное топливо, 90% вода. С помощью метода теневой съемки (Shadow Photography, SP) определены типичные размеры вторичных фрагментов, образующихся при фрагментации каждой из трех капель в группе. Установлены предельные расстояния (от 8 до 10 радиусов) между каплями, при которых интегральные характеристики фрагментации группы капель удовлетворительно соответствуют аналогичным характеристикам распада одиночных капель. При меньших расстояниях между каплями зарегистрированы существенные отличия характеристик вторичных капель, формирующихся в результате микровзрывной фрагментации композиционных топлив.

**Ключевые слова:** группа капель; вододизельные композиции; микровзрывная фрагментация; вторичные фрагменты; коллективные эффекты; теневая съемка

DOI: 10.30826/CE22150203

EDN: WPTRVG

## Литература

1. Alkhedhair A., Jahn I., Gurgenci H., Guan Z., He S. Parametric study on spray cooling system for optimising nozzle design with pre-cooling application in natural draft dry cooling towers // *Int. J. Therm. Sci.*, 2016. Vol. 104. P. 448–460. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2016.02.004.
2. Sazhin S. S. Modelling of fuel droplet heating and evaporation: Recent results and unsolved problems // *Fuel*, 2017. Vol. 196. P. 69–101. doi: 10.1016/j.fuel.2017.01.048.
3. Ayhan V., Tunca S. Experimental investigation on using emulsified fuels with different biofuel additives in a DI diesel engine for performance and emissions // *Appl. Therm. Eng.*, 2018. Vol. 129. P. 841–854. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.10.106.
4. Tonini S., Gavaises M., Theodorakakos A. The role of droplet fragmentation in high-pressure evaporating diesel sprays // *Int. J. Therm. Sci.*, 2009. Vol. 48. P. 554–572. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2008.03.020.
5. Fujimoto H., Tong A. Y., Takuda H. Interaction phenomena of two water droplets successively impacting onto a solid surface // *Int. J. Therm. Sci.*, 2008. Vol. 47. P. 229–236. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2007.02.006.
6. Tarlet D., Bellettre J., Tazerout M., Rahmouni C. Prediction of micro-explosion delay of emulsified fuel droplets // *Int. J. Therm. Sci.*, 2009. Vol. 48. P. 449–460. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2008.05.005.
7. Tarlet D., Mura E., Josset C., Bellettre J., Allouis C., Massoli P. Distribution of thermal energy of child-droplets issued from an optimal micro-explosion // *Int. J. Heat Mass Tran.*, 2014. Vol. 77. P. 1043–1054. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.06.054.
8. Tarlet D., Allouis C., Bellettre J. The balance between surface and kinetic energies within an optimal micro-explosion // *Int. J. Therm. Sci.*, 2016. Vol. 107. P. 179–183. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2016.04.008.
9. Volkov R. S., Strizhak P. A. Research of temperature fields and convection velocities in evaporating water droplets using Planar Laser-Induced Fluorescence and Particle Image Velocimetry // *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 2018. Vol. 97. P. 392–407. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2018.05.007.
10. Ithnin A. M., Noge H., Kadir H. A., Jazair W. An overview of utilizing water-in-diesel emulsion fuel in diesel engine and its potential research study // *J. Energy Inst.*, 2014. Vol. 87. P. 273–288. doi: 10.1016/j.joei.2014.04.002.
11. Yoon S., Lee S., Kwon H., Lee J., Park S. Effects of the

\*Исследования проведены за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 21-71-10008, <https://rscf.ru/project/21-71-10008/>).

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, antonovdv132@gmail.com

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, vfedrm@gmail.com

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, pavelspa@tpu.ru

- swirl ratio and injector hole number on the combustion and emission characteristics of a light duty diesel engine // *Appl. Therm. Eng.*, 2018. Vol. 142. P. 68–78. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.06.076.
12. *Mura E., Josset C., Loubar K., Huchet G., Bellettre J.* Effect of dispersed water droplet size in microexplosion phenomenon for water in oil emulsion // *Atomization Spray.*, 2010. Vol. 20. P. 791–799. doi: 10.1615/AtomizSpr.v20.i9.40.
  13. *Khan M. Y., Abdul Karim Z. A., Aziz A. R. A., Heikal M. R., Crua C.* Puffing and microexplosion behavior of water in pure diesel emulsion droplets during Leidenfrost effect // *Combust. Sci. Technol.*, 2017. Vol. 189. P. 1186–1197. doi: 10.1080/00102202.2016.1275593.
  14. *Antonov D., Piskunov M., Strizhak P., Tarlet D., Bellettre J.* Dispersed phase structure and micro-explosion behavior under different schemes of water–fuel droplets heating // *Fuel*, 2020. Vol. 259. P. 116241. doi: 10.1016/j.fuel.2019.116241.
  15. *Avulapati M. M., Ganippa L. C., Xia J., Megaritis A.* Puffing and micro-explosion of diesel–biodiesel–ethanol blends // *Fuel*, 2016. Vol. 166. P. 59–66. doi: 10.1016/j.fuel.2015.10.107.
  16. *Rao D. C. K., Syam S., Karmakar S., Joarder R.* Experimental investigations on nucleation, bubble growth, and micro-explosion characteristics during the combustion of ethanol/ Jet A-1 fuel droplets // *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 2017. Vol. 89. P. 284–294. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2017.08.025.
  17. *Ojha P. K., Maji R., Karmakar S.* Effect of crystallinity on droplet regression and disruptive burning characteristics of nanofuel droplets containing amorphous and crystalline boron nanoparticles // *Combust. Flame.*, 2018. Vol. 188. P. 412–427. doi: 10.1016/j.combustflame.2017.10.005.
  18. *Avulapati M. M., Megaritis T., Xia J., Ganippa L.* Experimental understanding on the dynamics of micro-explosion and puffing in ternary emulsion droplets // *Fuel*, 2019. Vol. 239. P. 1284–1292. doi: 10.1016/j.fuel.2018.11.112.
  19. *Antonov D. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A.* Comparison of the characteristics of micro-explosion and ignition of two-fluid water-based droplets, emulsions and suspensions, moving in the high-temperature oxidizer medium // *Acta Astronaut.*, 2019. Vol. 160. P. 258–269. doi: 10.1016/j.actaastro.2019.04.048.
  20. *Antonov D. V., Piskunov M. V., Strizhak P. A.* Breakup and explosion of droplets of two immiscible fluids and emulsions // *Int. J. Therm. Sci.*, 2019. Vol. 142. P. 30–41. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2019.04.011.
  21. *Antonov D. V., Volkov R. S., Fedorenko R. M., Strizhak P. A., Castanet G., Sazhin S. S.* Temperature measurements in a string of three closely spaced droplets before the start of puffing/micro-explosion: Experimental results and modelling // *Int. J. Heat Mass Tran.*, 2021. Vol. 181. P. 121837. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121837.
  22. *Antonov D. V., Fedorenko R. M., Strizhak P. A.* Child droplets produced by micro-explosion and puffing of two-component droplets // *Appl. Therm. Eng.*, 2019. Vol. 164. P. 114501. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114501.
  23. *Антонов Д. В., Стрижак П. А.* Интенсификация парообразования и вторичного измельчения капель огнетушащих составов // *Письма в ЖТФ*, 2020. Т. 46. № 3. С. 23–26.
  24. *Yaws L. C.* Yaws' handbook of thermodynamic and physical properties of chemical compounds // Norwich, NY, USA: Knovel, 2003.
  25. *Antonov D., Bellettre J., Tarlet D., Massoli P., Vysokomornaya O., Piskunov M.* Impact of holder materials on the heating and explosive breakup of two-component droplets // *Energies*, 2018. Vol. 11. P. 3307. doi: 10.3390/en11123307.
  26. *Voytkov I., Volkov R., Strizhak P.* Reducing the flue gases temperature by individual droplets, aerosol, and large water batches // *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 2017. Vol. 88. P. 301–316. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2017.06.009.
  27. *Antonov D. V., Fedorenko R. M., Strizhak P. A.* Micro-explosion and puffing of a group of two-component droplets // *Appl. Therm. Eng.*, 2020. Vol. 181. P. 116023. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.116023.

Поступила в редакцию 21.01.2022