

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВЛЕНИЯ ПАРА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПРИ СЖИГАНИИ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА В АТМОСФЕРНОМ ГОРЕЛОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

М. А. Мухина¹, Е. П. Копьев², И. С. Садкин³, Е. Ю. Шадрин⁴

Аннотация: Изучается эффективность добавления пара применительно к задаче снижения выбросов оксидов азота и углерода для горелочных устройств атмосферного типа малой мощности на примере сжигания газообразного топлива. Экспериментально определены тепловые и экологические характеристики сжигания газообразного топлива при его подаче в основание высокоскоростной струи перегретого водяного пара как способа низкокэмиссионного горения. В ходе эксперимента измерены полнота сгорания топлива, газовый анализ уходящих газов и средняя температура вдоль оси симметрии пламени. Полученные результаты демонстрируют, что подача перегретого водяного пара позволяет значительно снизить концентрацию вредных веществ в продуктах сгорания (NOx и CO в 1,6 и 1,8 раза) по сравнению с дутьем нагретого воздуха, при этом сохраняется высокая полнота сгорания топлива за счет реакции взаимодействия углеводородного топлива с паром.

Ключевые слова: метод разбавления паром; перегретый пар; NOx; газообразное топливо; снижение выбросов

DOI: 10.30826/CE24170302

EDN: TDHUBD

Литература

1. World Energy Outlook. — International Energy Agency, 2022. 524 p. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>.
2. Kosoi A. S., Zeigarnik Y. A., Popel' O. S., Sinkevich M. V., Filippov S. P., Shterenberg V. Y. The conceptual process arrangement of a steam–gas power plant with fully capturing carbon dioxide from combustion products // Therm. Eng., 2018. Vol. 65. P. 597–605. doi: 10.1134/S0040601518090045.
3. Barma M. C., Saidur R., Rahman S. M. A., Allouhi A., Akash B. A., Sait S. M. A review on boilers energy use, energy savings, and emissions reductions // Renew. Sust. Energ. Rev., 2017. Vol. 79. P. 970–83. doi: 10.1016/J.RSER.2017.05.187.
4. Al-Qurashi K., Lueking A. D., Boehman A. L. The deconvolution of the thermal, dilution, and chemical effects of exhaust gas recirculation (EGR) on the reactivity of engine and flame soot // Combust. Flame, 2011. Vol. 158. P. 1696–704. doi: 10.1016/j.combustflame.2011.02.006.
5. Li S., Zhang Y., Qiu X., Li B., Zhang H. Effects of inert dilution and preheating temperature on lean flammability limit of syngas // Energ. Fuel., 2014. Vol. 28. P. 3442–3452. doi: 10.1021/ef500187s.
6. Pugh D. G., Bowen P. J., Marsh R., et al. Dissociative influence of H₂O vapour/spray on lean blowoff and NOx reduction for heavily carbonaceous syngas swirling flames // Combust. Flame, 2017. Vol. 177. P. 37–48. doi: 10.1016/j.combustflame.2016.11.010.
7. Zhang P., Shao Y., Niu J., Zeng X., Zheng X., Wu C. Effect of low-nitrogen combustion system with flue gas circulation technology on the performance of NOx emission in waste-to-energy power plant // Chem. Eng. Process., 2022. Vol. 175. P. 108910. doi: 10.1016/J.CEP.2022.108910.
8. Li A., Zheng Z., Peng T. Effect of water injection on the knock, combustion, and emissions of a direct injection gasoline engine // Fuel, 2020. Vol. 268. P. 117376. doi: 10.1016/j.fuel.2020.117376.
9. Le Cong T., Dagaut P. Experimental and detailed modeling study of the effect of water vapor on the kinetics of combustion of hydrogen and natural gas, impact on NOx // Energ. Fuel., 2009. Vol. 23. P. 725–34. doi: 10.1021/ef800832q.
10. Boushaki T., Dhué Y., Selle L., Ferret B., Poinot T. Effects of hydrogen and steam addition on laminar burning velocity of methane–air premixed flame: Experimental and numerical analysis // Int. J. Hydrogen Energ., 2012. Vol. 37. P. 9412–9422. doi: 10.1016/j.ijhydene.2012.03.037.
11. Albin E., Nawroth H., Göke S., D'Angelo Y., Paschereit C. O. Experimental investigation of burning velocities of ultra-wet methane–air–steam mixtures // Fuel Process. Technol., 2013. Vol. 107. P. 27–35. doi: 10.1016/j.fuproc.2012.06.027.

¹Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, mary-andr@yandex.ru

²Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, kopyeve@itp.nsc.ru

³Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, sadkinvanya@mail.ru

⁴Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, evgen_zavita@mail.ru

12. Zou C., Song Y., Li G., Cao S., He Y., Zheng C. The chemical mechanism of steam's effect on the temperature in methane oxy-steam combustion // *Int. J. Heat Mass Tran.*, 2014. Vol. 75. P. 12–18. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.03.051.
13. Honzawa T., Kai R., Seino M., et al. Numerical and experimental investigations on turbulent combustion fields generated by large-scale submerged combustion vaporizer burners with water spray equipment // *J. Nat. Gas Sci. Eng.*, 2020. Vol. 76. P. 103158. doi: 10.1016/j.jngse.2020.103158.
14. Матинья А., Дельфо Ж. Л., Пилье Л., Вовель К. Исследование влияния CO₂ и H₂O на химическую структуру бедных и богатых метановоздушных пламен при атмосферном давлении // *Физика горения и взрыва*, 2009. Т. 45. № 6. С. 3–14. EDN: MBZVHN.
15. Cui G., Dong Z., Wang S., Xing X., Shan T., Li Z. Effect of the water on the flame characteristics of methane hydrate combustion // *Appl. Energ.*, 2020. Vol. 259. P. 114205. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114205.
16. Anufriev I. S., Kopyev E. P., Sadkin I. S., Mukhina M. A. NO_x reduction by steam injection method during liquid fuel and waste burning // *Process Saf. Environ.*, 2021. Vol. 152. P. 240–248. doi: 10.1016/j.psep.2021.06.016.
17. Kopyev E. P., Anufriev I. S., Sadkin I. S., Shadrin E. Y., Minakov A. V. Experimental study of kerosene combustion with steam injection in laboratory burner // *J. Eng. Thermophys.*, 2022. Vol. 31. No. 4. P. 589–602. doi: 10.1134/S1810232822040063.
18. УСУ «Крупномасштабный термогидродинамический стенд для исследования тепловых и газодинамических характеристик энергоустановок». <http://skprf.ru/usu/73570/>.
19. Anufriev I. S., Kopyev E. P. Diesel fuel combustion by spraying in a superheated steam jet // *Fuel Process. Technol.*, 2019. Vol. 192. P. 154–169. doi: 10.1016/j.fuproc.2019.04.027.
20. Anufriev I. S., Krasinsky D. V., Shadrin E. Y., Kopyev E. P., Sharyпов O. V. Investigation of the structure of the gas flow from the nozzle of a spray-type burner // *Thermophys. Aeromech.*, 2019. Vol. 26. P. 657–672. doi: 10.1134/S0869864319050044.

Поступила в редакцию 14.05.2024