

ТЕРМИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЕЛЛЕТИРОВАННЫХ ТОПЛИВ С ДОБАВКАМИ КАРТОНА И БУРОГО УГЛЯ*

В. В. Дорохов¹, К. Ю. Вершинина², О. В. Высокоморная³, Г. С. Няшина⁴, К. К. Паушкина⁵, Д. К. Шведов⁶

Аннотация: Приведены результаты экспериментального определения характеристик термического окисления композиционных топливных пеллет на основе опилок, картона и бурого угля. Характеристики термического окисления определялись при помощи термогравиметрического анализатора METTLER-TOLEDO TGA/DSC 3+. Установлено, что увеличение доли картона в составе пеллет приводило к росту максимальной скорости потери массы исследуемых образцов. Показано, что использование добавок бурого угля и картона приводит к снижению энергии активации термического окисления композиционных топливных пеллет. По сравнению с пеллетами без добавок использование картона в составе пеллетированных топлив приводит к снижению средней энергии активации на величину до 36% с добавкой картона и 74% с добавкой бурого угля.

Ключевые слова: пеллетированные топлива; энергия активации; скорость нагрева; термогравиметрия

DOI: 10.30826/CE25180309

EDN: DUJEMI

Литература

1. Li H., Jiang L. B., Li C. Z., Liang J., Yuan X. Z., Xiao Z. H., Xiao Z. H., Wang H. Co-pelletization of sewage sludge and biomass: The energy input and properties of pellets // *Fuel Process. Technol.*, 2015. Vol. 132. P. 55–61. doi: 10.1016/j.fuproc.2014.12.020.
2. Cui X., Yang J., Wang Z., Shi X. Better use of bioenergy: A critical review of co-pelletizing for biofuel manufacturing // *Carbon Capture Sci. Technol.*, 2021. Vol. 1. P. 100005. doi: 10.1016/j.ccst.2021.100005.
3. Hossain M. U., Leu S. Y., Poon C. S. Sustainability analysis of pelletized bio-fuel derived from recycled wood product wastes in Hong Kong // *J. Clean. Prod.*, 2016. Vol. 113. P. 400–410. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.11.069.
4. Martínez-Guido S. I., García-Trejo J. F., Gutiérrez-Antonio C., Domínguez-González A., Gómez-Castro F. I., Ponce-Ortega J. M. The integration of pelletized agricultural residues into electricity grid: Perspectives from the human, environmental and economic aspects // *J. Clean. Prod.*, 2021. Vol. 321. P. 128932. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128932.
5. Zhai M., Li X., Yang D., Ma Z., Dong P. Ash fusion characteristics of biomass pellets during combustion // *J. Clean. Prod.*, 2022. Vol. 336. P. 130361. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.130361.
6. Ferronato N., Calle Mendoza I. J., Ruiz Mayta J. G., Gorritty Portillo M. A., Conti F., Torretta V. Biomass and cardboard waste-based briquettes for heating and cooking: Thermal efficiency and emissions analysis // *J. Clean. Prod.*, 2022. Vol. 375. P. 134111. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134111.
7. Demirbaş A., Şahin A. Evaluation of biomass residue: 1. Briquetting waste paper and wheat straw mixtures // *Fuel Process. Technol.*, 1998. Vol. 55. P. 175–183. doi: 10.1016/S0378-3820(98)00041-1.
8. Ghorbel L., Rouissi T., Brar S. K., López-González D., Ramirez A. A., Godbout S. Value-added performance of processed cardboard and farm breeding compost by pyrolysis // *Waste Manage.*, 2015. Vol. 38. P. 164–173. doi: 10.1016/j.wasman.2015.01.009.
9. Kim J. K., Lee H. D., Kim H. S., Park H. Y., Kim S. C. Combustion possibility of low rank russian peat as a blended fuel of pulverized coal fired power plant // *J. Ind. Eng. Chem.*, 2014. Vol. 20. P. 1752–1760. doi: 10.1016/j.jiec.2013.08.027.
10. Sadhukhan A. K., Gupta P., Saha R. K. Modelling of pyrolysis of large wood particles // *Bioresource Technol.*, 2009. Vol. 100. P. 3134–3139. doi: 10.1016/j.biortech.2009.01.007.
11. Meng F., Yu J., Tahmasebi A., Han Y. Pyrolysis and combustion behavior of coal gangue in O₂/CO₂ and O₂/N₂ mixtures using thermogravimetric analysis and a drop tube furnace // *Energ. Fuel.*, 2013. Vol. 27.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 23-79-10098).

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, vvd11@tpu.ru

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, vershininaks@tpu.ru

³ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, vysokomornaja@tpu.ru

⁴ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, gsn1@tpu.ru

⁵ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, kkp1@tpu.ru

⁶ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, dks7@tpu.ru

- P. 2923–2932. doi: 10.1021/ef400411w/asset/images/ef-2013-00411w_m015.gif.
12. Чжан Ю., Лу Ц., Чэн Ф., Го Я. Исследование характеристик и кинетики горения пустой угольной породы // Физика горения и взрыва, 2015. Т. 51. № 6. С. 53–61. doi: 10.15372/fgv20150608.
 13. Mishra R. K., Mohanty K. Pyrolysis kinetics and thermal behavior of waste sawdust biomass using thermogravimetric analysis // Bioresource Technol., 2018. Vol. 251. P. 63–74. doi: 10.1016/j.biortech.2017.12.029.
 14. Hsuan C. Y., Hou S. S. Co-combustion characteristics and kinetics of sludge/coal blends in 21%–50% oxygen-enriched O₂/CO₂ atmospheres // Fuel, 2024. Vol. 362. P. 130821. doi: 10.1016/j.fuel.2023.130821.
 15. Muravyev N. V., Vyazovkin S. The status of pyrolysis kinetics studies by thermal analysis: Quality is not as good as it should and can readily be // Thermo, 2022. Vol. 2. No. 4. P. 435–452. doi: 10.3390/thermo2040029.
 16. Muigai H. H., Choudhury B. J., Kalita P., Moholkar V. S. Co-pyrolysis of biomass blends: Characterization, kinetic and thermodynamic analysis // Biomass Bioenerg., 2020. Vol. 143. P. 105839. doi: 10.1016/j.biombioe.2020.105839.
 17. Dwivedi K. K., Prabhansu, Karmakar M. K., Chatterjee P. K. Thermal degradation, characterization and kinetic modeling of different particle size coal through TGA // Thermal Science Engineering Progress, 2020. Vol. 18. Iss. 1. P. 100523. 7 p. doi: 10.1016/j.tsep.2020.100523.
 18. Khan A., Ali I., Farooq W., Naqvi S. R., Mehran M. T., Shahid A., Liaquat R., Waqas Anjum M., Naqvi M. Investigation of combustion performance of tannery sewage sludge using thermokinetic analysis and prediction by artificial neural network // Case Studies Thermal Engineering, 2022. Vol. 40. P. 102586. doi: 10.1016/j.csite.2022.102586.
 19. Sbrolini Tiburcio R., Malpeli Junior M., Tófano de Campos Leite J., Minoru Yamaji F., Pereira Neto A. M. Physico-chemical and thermophysical characterization of rejected waste and evaluation of their use as refuse-derived fuel // Fuel, 2021. Vol. 293. P. 120359. doi: 10.1016/j.fuel.2021.120359.
 20. He J., Li J., Huang Q., Yan J. Release characteristics of potassium and sodium during pellet combustion of typical MSW fractions using the FES method // Combust. Flame, 2022. Vol. 244. P. 112233. doi: 10.1016/j.combustflame.2022.112233.
 21. Iyer K. A., Flores A. M., Torkelson J. M. Comparison of polyolefin biocomposites prepared with waste cardboard, microcrystalline cellulose, and cellulose nanocrystals via solid-state shear pulverization // Polymer, 2015. Vol. 75. P. 78–87. doi: 10.1016/j.polymer.2015.08.029.
 22. Dhyani V., Bhaskar T. A. Comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass // Renew. Energ., 2018. Vol. 129. P. 695–716. doi: 10.1016/j.renene.2017.04.035.
 23. Delgado B., López González D., Godbout S., Lagacé R., Giroir-Fendler A., Avalos Ramirez A. A study of torrefied cardboard characterization and applications: composition, oxidation kinetics and methane adsorption // Sci. Total Environ., 2017. Vol. 593-594. P. 406–417. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.119.
 24. Leysens G., Trouvé G., Caplain I., Schönnenbeck C., Cazier F. Energetic performances and environmental impact of the combustion of cardboard/sawdust in a domestic boiler // Fuel, 2014. Vol. 122. P. 21–27. doi: 10.1016/j.fuel.2014.01.034.
 25. Jayaraman K., Gokalp I., Bostyn S. High ash coal pyrolysis at different heating rates to analyze its char structure, kinetics and evolved species // J. Anal. Appl. Pyrol., 2015. Vol. 113. P. 426–433. doi: 10.1016/j.jaap.2015.03.007.
 26. Jiang Y., Zong P., Ming X., Wei H., Zhang X., Bao Y., Tian B., Tian Y., Qiao Y. High-Temperature fast pyrolysis of coal: An applied basic research using thermal gravimetric analyzer and the downer reactor // Energy, 2021. Vol. 223. P. 119977. doi: 10.1016/j.energy.2021.119977.
 27. Gil M. V., Casal D., Pevida C., Pis J. J., Rubiera F. Thermal behaviour and kinetics of coal/biomass blends during co-combustion // Bioresource Technol., 2010. Vol. 101. P. 5601–5608. doi: 10.1016/j.biortech.2010.02.008.
 28. Ma P., Yang J., Xing X., Weihrich S., Fan F., Zhang X. Isoconversional kinetics and characteristics of combustion on hydrothermally treated biomass // Renew. Energ., 2017. Vol. 114. P. 1069–1076. doi: 10.1016/j.renene.2017.07.115.
 29. Wang Q., Zhao W., Liu H., Jia C., Xu H. Reactivity and kinetic analysis of biomass during combustion // Energy Proced., 2012. Vol. 17. P. 869–875. doi: 10.1016/j.egypro.2012.02.181.
 30. Liu L., Pang Y., Lv D., Wang K., Wang Y. Thermal and kinetic analyzing of pyrolysis and combustion of self-heating biomass particles // Process Saf. Environ., 2021. Vol. 151. P. 39–50. doi: 10.1016/j.psep.2021.05.011.

Поступила в редакцию 27.11.2024

После доработки 12.05.2025

Принята к публикации 12.05.2025