

## С Е К Ц И Я 9

### ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

#### ПИЛОТНАЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКА УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ В СОСТАВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТОПЛИВ

Глушков Д.О.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В настоящее время одной из основных экологических проблем во всем мире является загрязнение окружающей среды промышленными и коммунальными отходами [1–7]. Несмотря на развитие системы обращения с отходами, по оценкам специалистов [8,9] широко применяющиеся в настоящее время технологии утилизации отходов даже в среднесрочной перспективе не позволят кардинально решить проблему загрязнения окружающей среды. Вариантом решения этих проблем является применение мелкодисперсных твердых отходов в качестве компонентов композиционных жидких топлив, состоящих из отхода углеобогащения (или смеси низкокачественного угля с водой) и отработанной горючей жидкости (автомобильные, трансформаторные, турбинные и другие масла). В качестве компонентов топлива могут быть использованы не только привозные энергоресурсы (низкокачественные угли, отходы углеобогащения, отработанные масла, отходы нефтепереработки), но и ресурсы местной сырьевой базы: торф, осадки сточных вод, отходы пиролиза автомобильных шин, твердые коммунальные отходы, водоросли, древесный уголь, солома, опилки, растительные масла, биомасса. Разработка и внедрение на практике перспективных промышленных технологий требует всестороннего изучения технических, экологических и экономических аспектов нового направления в утилизации отходов.

Выполнен цикл широкомасштабных лабораторных исследований, в результате которых научно обоснована возможность практического применения композиционных топлив из промышленных и коммунальных отходов на объектах промышленной теплоэнергетики. Экспериментальные и теоретические исследования [10–16] позволили установить основные закономерности и характеристики процессов (времена задержки зажигания; времена выгорания; минимальные температуры окружающей среды, необходимые для зажигания; изменение температуры капли в процессе горения; концентрации газообразных антропогенных выбросов в окружающую среду), протекающих при горении большой группы (более 80) разных составов композиционных топлив на основе смеси угля с водой (или влажного отхода углеобогащения) и маслом, причем максимальная концентрация последнего, как правило, не превышала 20 %. Многокомпонентный состав таких топлив является причиной реализации достаточно сложного механизма горения капель суспензионных топлив [10–13], когда процессы газофазного и гетерогенного выгорания компонентов достаточно существенно распределены во времени, а длительность горения в целом составляет несколько десятков секунд (30–90 с). Установлено [16], что диспергирование капель суспензионных топлив достаточно существенно (в 8–12 раз) интенсифицирует выгорание горючих компонентов [16], причем интенсивность диспергирования возрастает при увеличении концентрации горючей жидкости в составе топлива. На основании результатов выполненных анализов свойств отдельных топливных компонентов установлено, что эффект диспергирования обусловлен возникновением в объеме капли суспензионного топлива центров парообразования, зарождение которых зависит от соотношения дисперсионных и полярных составляющих свободной поверхностной энергии компонентов, входящих в состав топлив.



*Рис. 1. Модель установки приготовления и сжигания композиционных жидких топлив*

Основной причиной диспергирования капель суспензий или эмульсий является микровзрыв [17, 18], который в результате протекания взаимосвязанных физико-химических процессов (испарения, термического разложения, газификации одного из компонентов) ведет к частичному или полному разрушению исходной капли многокомпонентного топлива с образованием десятков и сотен мелкодисперсных фрагментов. Кратное увеличение площади свободной поверхности топлива после диспергирования ведет к интенсификации прогрева, испарения, термического разложения компонентов, их зажигания и горения, а также увеличению полноты выгорания топлива. Этот эффект может быть использован на практике при разработке перспективных технологий сжигания низкосортных топлив в теплоэнергетике, когда энергия выделяется в течение относительно короткого промежутка времени в достаточно большом по размерам объеме, а не в условиях длительного газофазного или гетерогенного горения капель и частиц топлив.

Для проведения промышленного исследования энергетического применения композиционных топливных смесей на основе отходов с непрерывной регистрацией технических характеристик процесса выгорания топлива спроектирована мобильная установка, модель которой представлена на рисунке 1. Установка содержит в своем составе автоматизированную систему топливоприготовления, систему сжигания приготовляемого топлива и систему измерения с непрерывной регистрацией технических характеристик протекающих процессов (коэффициент избытка воздуха, температура в топке, концентрации антропогенных выбросов в дымовых газах). Установка может применяться для факельного и слоевого сжигания. В качестве энергоресурса используется композиционное жидкое топливо различного состава. Основой для приготовления топливных смесей могут являться отходы угольной промышленности (угольный шлак, фильтр-кек и другие), отходы нефтяного происхождения (отработанные масла, мазуты, нефтепродукты), а также горючие коммунальные отходы и биомасса (опилки, солома, торф, органические отходы).

Автор благодарен аспиранту Паушкиной К.К. и магистранту Кузнеценковой Д.А. за помощь при подготовке материалов доклада.

Исследование выполнено при поддержке программы развития Национального исследовательского Томского политехнического университета «Приоритет-2030» (проект № Приоритет-2030-НИП/ЭБ-038-375-2023).

#### Литература

- Jimenez L. et al. Operational predictive model for a municipal waste incinerator: A spanish case study // International Journal of Environmental Research. – 2011. – Т. 5. – № 3. – С. 639-650.
- Moskvichev, V.F.; Tugov, A.N. Analysis of Operating Experience with Steam Air Preheaters at Russian Municipal Solid Waste Thermal Power Plants. Power Technol. Eng. 2012, 46, 46–51, doi:10.1007/s10749-012-0305-1.
- Wang, H.; Wang, C. Municipal Solid Waste Management in Beijing: Characteristics and Challenges. Waste Manag. Res. 2013, 31, 67–72, doi:10.1177/0734242X12468199.
- Jeswani, H.K.; Smith, R.W.; Azapagic, A. Energy from Waste: Carbon Footprint of Incineration and Landfill Biogas in the UK. Int. J. Life Cycle Assess. 2013, 18, 218–229, doi:10.1007/s11367-012-0441-8.
- De Souza, S.N.M.; Horttanainen, M.; Antonelli, J.; Klaus, O.; Lindino, C.A.; Nogueira, C.E.C. Technical Potential of Electricity Production from Municipal Solid Waste Disposed in the Biggest Cities in Brazil: Landfill Gas, Biogas and Thermal Treatment. Waste Manag. Res. 2014, 32, 1015–1023, doi:10.1177/0734242X14552553.
- Funari, V.; Braga, R.; Bokhari, S.N.H.; Dinelli, E.; Meisel, T. Solid Residues from Italian Municipal Solid Waste Incinerators: A Source for “critical” Raw Materials. Waste Manag. 2015, 45, 206–216, doi:10.1016/j.wasman.2014.11.005.
- Dong, J.; Tang, Y.; Nzihou, A.; Chi, Y.; Weiss-Hortala, E.; Ni, M.; Zhou, Z. Comparison of Waste-to-Energy Technologies of Gasification and Incineration Using Life Cycle Assessment: Case Studies in Finland, France and China. J. Clean. Prod. 2018, 203, 287–300, doi:10.1016/j.jclepro.2018.08.139.
- Cimpan, C.; Maul, A.; Jansen, M.; Pretz, T.; Wenzel, H. Central Sorting and Recovery of MSW Recyclable Materials: A Review of Technological State-of-the-Art, Cases, Practice and Implications for Materials Recycling. J. Environ. Manage. 2015, 156, 181–199, doi:10.1016/j.jenvman.2015.03.025.
- Zaman, A.U. A Comprehensive Review of the Development of Zero Waste Management: Lessons Learned and Guidelines. J. Clean. Prod. 2015, 91, 12–25, doi:10.1016/J.JCLEPRO.2014.12.013.
- Glushkov, D.O.; Strizhak, P.A. Ignition of Composite Liquid Fuel Droplets Based on Coal and Oil Processing Waste by Heated Air Flow. J. Clean. Prod. 2017, 165, 1445–1461, doi:10.1016/j.jclepro.2017.07.207.
- Glushkov, D.O.; Strizhak, P.A.; Vershinina, K.Y. Minimum Temperatures for Sustainable Ignition of Coal Water Slurry Containing Petrochemicals. Appl. Therm. Eng. 2016, 96, 534–546, doi:10.1016/J.APPLTHERMALENG.2015.11.125.
- Pinchuk, V.A. The Main Regularities of Ignition and Combustion of Coal-Water Fuels Produced from Brown, Flame and Gas Coals. Int. J. Eng. Res. Africa 2018, 37, 141–157, doi:10.4028/www.scientific.net/JERA.37.141.
- Pinchuk, V.A.; Sharabura, T.A.; Kuzmin, A.V. Experimental Investigation of Thermal Conductivity and Heat Capacity of Coal-Water Fuel. Int. J. Energy a Clean Environ. 2016, 17, 165–185, doi:10.1615/InterJEnerCleanEnv.2016019411.
- Nyashina, G.S.; Kurgankina, M.A.; Strizhak, P.A. Environmental, Economic and Energetic Benefits of Using Coal and Oil Processing Waste Instead of Coal to Produce the Same Amount of Energy. Energy Convers. Manag. 2018, 174, 175–187, doi:10.1016/j.enconman.2018.08.048.
- Glushkov, D.O.; Paushkina, K.K.; Shabardin, D.P.; Strizhak, P.A. Environmental Aspects of Converting Municipal Solid Waste into Energy as Part of Composite Fuels. J. Clean. Prod. 2018, 201, 1029–1042, doi:10.1016/j.jclepro.2018.08.126.
- Vershinina, K.Y.; Nyashina, G.S.; Dorokhov, V.V.; Shlegel, N.E. The Prospects of Burning Coal and Oil Processing Waste in Slurry, Gel, and Solid State. Appl. Therm. Eng. 2019, 156, 51–62, doi:10.1016/j.applthermaleng.2019.04.035.
- 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, 160, 258–269, doi:10.1016/j.actaastro.2019.04.048.
- Rubio, M.A.; Gunduz, I.E.; Groven, L.J.; Sippel, T.R.; Han, C.W.; Unocic, R.R.; Ortolan, V.; Son, S.F. Microexplosions and Ignition Dynamics in Engineered Aluminum/Polymer Fuel Particles. Combust. Flame 2017, 176, 162–171, doi:10.1016/j.combustflame.2016.10.008.