

сушка древесных опилок перед измельчением и смешением с углем для последующего совместного помола позволит существенно оптимизировать процессы подготовки угольно-древесных смесевых топлив для совместного сжигания в пылеугольных котлах.

Работа выполнена при поддержке гранта FSWW-2022-0018, реализуемого в рамках проекта создания новых молодежных лабораторий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Overview of Greenhouse Gases // U.S. Environmental Protection Agency 2024. – URL: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases> (дата обращения 01.11.2024)
2. Holocene vegetation and hydroclimate changes in the Kansk forest steppe, Yenisei River Basin, East Siberia / A.B. Mikhailova, A.N. Grenaderova, I.V. Kurina, L.S. Shumilovskikh, T.G. Stojko// An international journal of Quaternary research. – 2021. – V. 50. – P. 948–966.
3. A review of biomass co-firing in north America / E. Agbor, X. Zhang, A. Kumar // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – V. 40. – P. 930–943.
4. An evaluation of biomass co-firing in Europe / F. Al-Mansour, J. Zuwala // Biomass Bioenergy. – 2010. – V. 34. – P. 620–629.
5. Мисюкова А.Д., Янковский С.А. Фракционный анализ топлив на основе угля и древесной биомассы после их совместного измельчения // XL Сибирский теплофизический семинар. – Новосибирск: Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, 2024. – С. 258.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ И ГОРЕНИЯ УГЛЕЙ И КОМПОЗИЦИОННЫХ ТОПЛИВ НА ИХ ОСНОВЕ

К.А. Карташова, В.В. Дорохов

Томский политехнический университет, ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5БМ33

Научный руководитель: К.Ю. Вершинина, к.ф.-м.н., доцент ИШФВП ТПУ

В наши дни наблюдается рост урбанизации и индустриализации, что вызывает множество экологических и энергетических проблем. В этой связи увеличивается количество исследований, посвященных изучению нетрадиционных источников энергии и совместному сжиганию топлив с высокой теплотворной способностью [1]. Таким образом, со временем можно заметить тенденцию к возможности внедрения новых топливных композиций. В качестве компонентов для топливных смесей можно использовать отходы промышленности, разные виды биомассы и их производные [2].

Использование отходов для создания композитных топлив – современный и эффективный метод переработки, обеспечивающий экономическую выгоду и экологическую безопасность. Жидкие добавки к топливу способствуют уменьшению вредных выбросов, снижают сажеобразование, увеличивают скорость горения (несмотря на меньшую теплоту сгорания) и изменяют режим горения, создавая эффект микровзрыва [3,4].

Для определения характеристик термического разложения и горения смесевых топлив на основе бурого угля, опилок, воды и отработанного моторного масла использовали TGA анализатор METTLER-TOLEDO TGA/DSC 3+. Схема экспериментального стенда представлена на рис. 1. Скорость нагрева окислительной среды варьировалась от 10 до 30 °С.

Приготовленные образцы топлива представляли собой топливные смеси с следующими составами: 90 % бурого угля, 10 % древесных опилок; 60 % бурого угля, 40 % воды; 50 % бурого угля, 40 % воды, 10 % отработанного моторного масла. Все доли указаны в массовой концентрации.

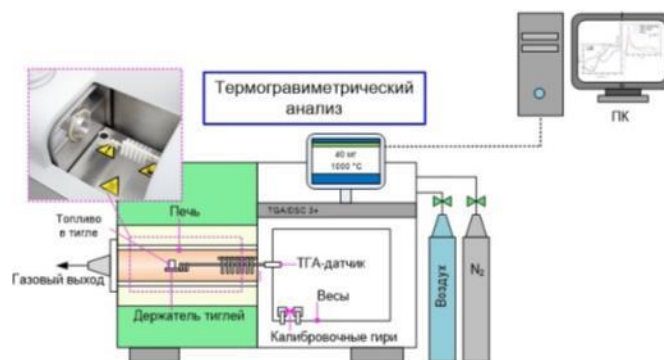


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

На рис. 2 представлены TG-DTG кривые исследуемых композиционных топлив, полученные при скорости нагрева $20\text{ }^{\circ}\text{C/мин}$. Как и в случае с моносжиганием компонентов, на термогравиметрических кривых можно выделить три стадии: испарение влаги (1 стадия), выход и горение летучих (2 стадия) и горение твердого коксового остатка (3 стадия).

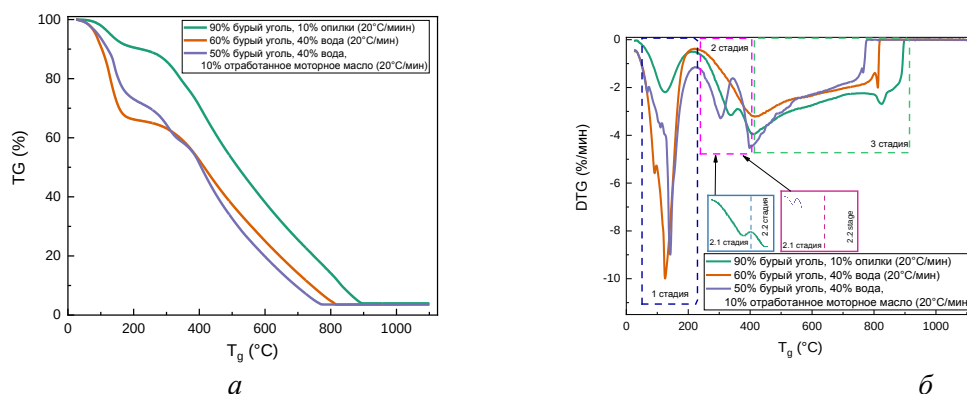


Рис. 2. TG-DTG кривые исследуемых композиционных топлив при скорости нагрева $20\text{ }^{\circ}\text{C/мин}$

Максимальной скоростью потери массы в ходе 1 стадия характеризуется композиционное топливо «60 % бурый уголь, 40 % вода» ввиду высокой доли влаги в ее составе. Максимальная скорость потери массы образца «60 % бурый уголь, 40 % вода» выше ($9,99\text{ } \%/ \text{мин}$), чем у суспензии с добавкой моторного масла ($8,99\text{ } \%/ \text{мин}$) (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики горения исследуемых топливных смесей

Топливо	Скорость нагрева, $^{\circ}\text{C/мин}$	Потеря массы, %	T_b , $^{\circ}\text{C}$	$R_{\max}$, $\%/ \text{мин}$	$T_{\max}$, $^{\circ}\text{C}$	$R_{\text{comb_max}}$, $\%/ \text{мин}$	$T_{\text{comb_max}}$, $^{\circ}\text{C}$
90 % бурый уголь, 10 % древесные опилки	10	96,37	707	3,13	378	3,13	378
90 % бурый уголь, 10 % древесные опилки	20	96,04	897	3,95	413	3,95	413
90 % бурый уголь, 10 % древесные опилки	30	96,93	1084	5,05	421	5,05	421
60 % бурый уголь, 40 % вода	10	97,34	688	7,64	101	2,48	379
60 % бурый уголь, 40 % вода	20	96,44	818	9,99	125	3,22	415
60 % бурый уголь, 40 % вода	30	97,73	934	14,91	153	4,12	426
50 % бурый уголь, 40 % вода, 10 % отработанное моторное масло	10	96,89	695	4,79	95	2,61	395
50 % бурый уголь, 40 % вода, 10 % отработанное моторное масло	20	96,37	775	8,99	142	4,53	398

T_b : температура выгорания, $^{\circ}\text{C}$; $R_{\max}$: максимальная скорость потери массы, $\%/ \text{мин}$; $T_{\max}$: температура, соответствующая максимальному пику потери веса, $^{\circ}\text{C}$; $R_{\text{comb_max}}$: максимальная скорость потери веса на стадии сжигания, $\%/ \text{мин}$; $T_{\text{comb_max}}$: температура, соответствующая максимальному пику потери массы на стадии сжигания, $^{\circ}\text{C}$.

На рис. 3 приведены относительные отклонения между теоретическими и экспериментальными термогравиметрическими кривыми композиционных топлив при скорости нагрева 20 °С/мин. На стадии выхода влаги суспензионного топлива «60 % бурый уголь, 40 % вода» наблюдается интенсификация данного процесса на величину до 0,42 % ввиду образования микропор на поверхности исследуемого образца. При использовании добавки отработанного моторного масла зарегистрирован ингибирующий эффект, вызванный образованием масляной пленки на поверхности образца, предотвращающей выход влаги. Величина ΔTG на данном этапе составляет 0,28 %. Значительный синергетический эффект наблюдается на этапах выхода и горения летучих и горения коксового остатка. Так, при использовании водоугольной суспензии величина синергетического эффекта достигает 1,72 %, а при использовании суспензионного топлива с добавкой отработанного моторного масла – 1,92 %.

На рис. 4 представлены зависимости энергии активации и предэкспоненциального множителя от степени конверсии исследуемых топлив. Для образцов твердых топлив («100 % бурый уголь» и «90 % бурый уголь, 10 % опилки») полученные зависимости характеризуются наличием одного максимума энергии активации, достигаемого на этапе выхода летучих. Причем, с увеличением содержания летучих в составе топлива, энергия активации увеличивается. Так, при использовании добавки опилок 10 %, энергия активации увеличилась на 29 % при степени конверсии 0.2. Аналогичный результат, заключающийся в увеличении E_a с ростом доли летучих регистрировался в [5] при совместном сжигании бурого угля и осадка сточных вод, в [6] при совместном сжигании из маслячной биомассы и полубитуминозного угля, в [7] при совместном сжигании микроводорослей и бурого угля. Согласно [8], реакции с высокой энергией активации требуют больших температур либо большей длительности теплового воздействия для их осуществления. Соответственно, большее содержание летучих в биомассе приводит к росту энергии активации на стадии выхода и горения летучих.

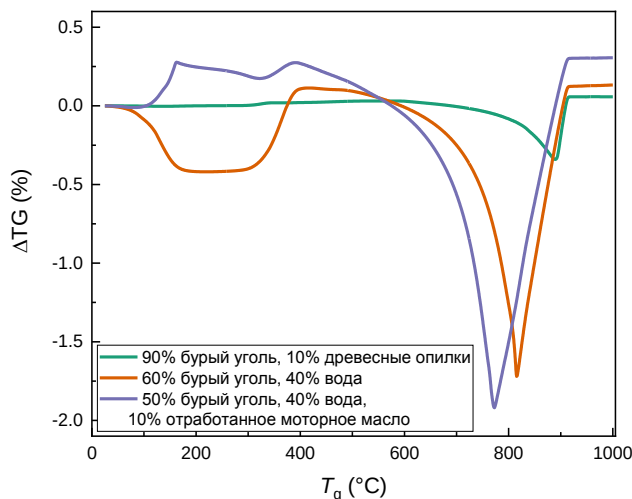


Рис. 3. Отклонение теоретических и экспериментальных кривых ТГ при сжигании композиционных топлив при скорости нагрева 20 °С/мин

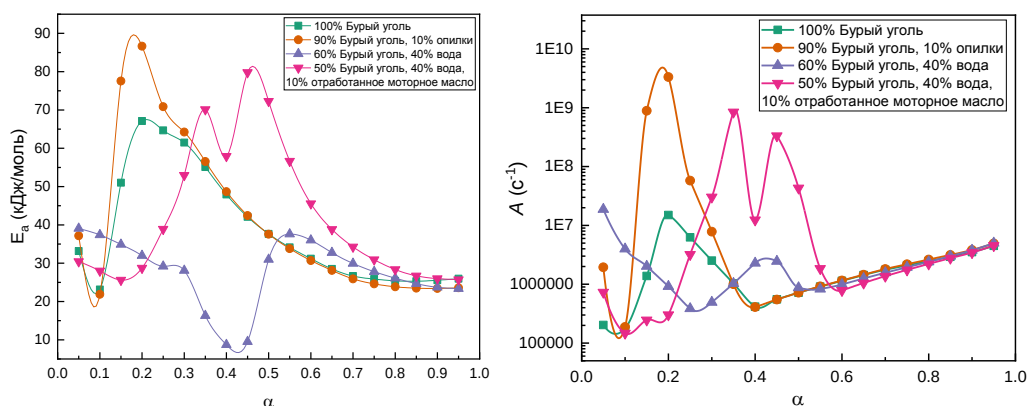


Рис. 4. Изменение энергии активации в зависимости от конверсии исследуемых композиционных топлив

Экспериментально определены характеристики термического разложения и горения композиционных топлив на основе бурого угля, отработанного моторного масла, древесных опилок. Установлено влияние скорости нагрева на процессы термического окисления композиционных топлив. Определена величина синергетического эффекта, возникающего при совместном сжигании компонентов в составе композиционных топлив.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Соглашение от 24.04.2024 № 075-15-2024-543.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yang D., Li S., He S. Zero/negative carbon emission coal and biomass staged co-gasification power generation system via biomass heating // *Applied Energy*. – 2024. – V. 357. – P. 122469.
2. Sun Y., Liu M.A study on the path planning and optimization of carbon peaking and carbon neutrality in the highway service area // *Building and Environment*. – 2025. – V. 267. – P. 112187.
3. San José J., Sanz-Tejedor M.A., Arroyo Y., toychev P. SAnalysis of vegetable oil mixture combustion in a conventional 50 KW thermal energy installation // *Renewable Energy*. – 2021. – V. 164. – P. 1133–1142.
4. Li T.X., Zhu D.L., Akafuah N.K., Saito K., Law C.K. Synthesis, droplet combustion, and sooting characteristics of biodiesel produced from waste vegetable oils // *Proceedings of the Combustion Institute*. – 2011. – V. 33, № 2. – P. 2039–2046.
5. Chen J., Mu L., Cai J., Yin H., Song X., Li A. Thermal characteristics and kinetics of refining and chemicals wastewater, lignite and their blends during combustion // *Energy Conversion and Management*. – 2015. – V. 100. – P. 201–211.
6. Idris S.S., Rahman N.A., Ismail K. Combustion characteristics of Malaysian oil palm biomass, sub-bituminous coal and their respective blends via thermogravimetric analysis (TGA) // *Bioresource Technology*. – 2012. – V. 123. – P. 581–591.
7. Tahmasebi A., Kassim M.A., Yu J., Bhattacharya S. Thermogravimetric study of the combustion of Tetraselmis suecica microalgae and its blend with a Victorian brown coal in O₂/N₂ and O₂/CO₂ atmospheres // *Bioresource Technology*. – 2013. – V. 150. – P. 15–27.
8. Gil M.V., Casal D., Pevida C., Pis J.J., Rubiera F. Thermal behaviour and kinetics of coal/biomass blends during co-combustion // *Bioresource technology*. – 2010. – V. 101, № 14. – P. 5601–5608.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ КАРТОНА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ И СВОЙСТВА ПЕЛЛЕТИРОВАННОГО ТОПЛИВА

Д.К. Шведов, В.В. Дорохов

Томский политехнический университет, ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5БМ33

Научный руководитель: Г.С. Няшина, к.т.н., доцент, НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ

В настоящее время создание композиционных топлив с использованием отходов стало популярной технологией переработки отходов за счет экономической эффективности и экологической безопасности [1].

Использование отходов в составе композиционного топлива является одним из перспективных способов расширения сырьевой базы и утилизации отходов. В частности, смешивание бумажных отходов (макулатура, картон, газеты) с биомассой можно считать одним из наиболее перспективных методов его переработки для получения композиционных топлив [2].

Схема экспериментального стенда, используемого для определения прочностных характеристик и характеристик термического разложения пеллетированного топлива представлена на рис. 1.

На рис. 2 представлены рассчитанные коэффициенты ударопрочности пеллет исследуемых составов. Данный показатель имеет важное значение при транспортировке, погрузочно-разгрузочных работах и хранении пеллет. Чем ниже показатель ударопрочности, тем выше вероятность образования осколков и пылевидных мелких частиц при ударных нагрузках, которые не могут быть полезно использованы в дальнейшем.