

- N. Hao, X. Meng, R. Ruan, A. J. Ragauskas // *Energy Conversion and Management*. – 2019. – V. 180. – P. 60-71.
5. Study of the co-pyrolysis of biomass and plastic wastes / F. Paradela, F. Pinto, I. Gulyurtlu, I. Cabrita, N. Lapa // *Clean Technologies and Environmental Policy*. – 2009. – Т. 11. – №. 1. – С. 115-122.
6. Особенности изучения термодеструкции твердых и жидких органических углеродсодержащих продуктов методом термогравиметрии / Е.С. Лыгина, А.Ф. Дмитрук, Л.Я. Галушко, С.Б. Любчик, В.Ф. Третьяков // *Химия твердого топлива*. – 2009. – № 3. – С. 58-74
7. Co-pyrolysis of corn stover and waste tire: Pyrolysis behavior and kinetic study based on Fraser-Suzuki deconvolution procedure / G. Luo, W. Wang, W. Xie, Y. Tang, Y. Xu, K. Wang // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. – 2022. – V. 168. – P.105743.
8. Study on pyrolysis characteristics and kinetics of biomass and its components / H. Xie, Q. Yu, Q. Qin, H. Zhang, P. Li // *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. – 2013. – V. 5. – №. 1. – P. 013122.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект 075-03-2021-138/3 (FZES-2021-0008)).

Научный руководитель: доцент, к.т.н. В.Е. Губин, доцент, НОЦ И.Н. Бутакова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ ИЗ КАМЕННОГО УГЛЯ И ОТХОДОВ ЛЕСОПИЛЕНИЯ НА УГОЛ РАСКРЫТИЯ ФАКЕЛА

А.Д. Мисюкова^{1,2}, С.А. Янковский^{1,2}

¹Томский политехнический университет,

²Кузбасский государственный технический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5БМ22

Аннотация

Приведены результаты экспериментальных исследований процессов распыления смесевых топлив, сформированных на основе тощего угля и продуктов деревообработки (сосновых опилок). Применены две методики приготовления топливных смесей: первая – раздельный размол и последующее смешение в течении семи минут; вторая – формирование смесевых топлив методом совместного помола в шаровой барабанной мельнице в течение 18 часов. Установлено, что при распылении смеси угля и древесной биомассы в соотношении по массе 50 % / 50 %, сформированной совместно в течении длительного времени, угол раскрытия факела увеличивается на 11,6 %, по сравнению углом раскрытия факела топливной смеси, которая формировалась по первой методике в равном соотношении по массе исходных компонент.

Введение

Совместное сжигание биомассы и угля на тепловых электрических станциях является недорогим и эффективным решением для сокращения выбросов диоксида углерода. Однако, широкое вовлечение мелкодисперсной биомассы в большую и малую энергетику на данный момент не является возможным по ряду причин, и одна из них – не разработана технология формирования топливных смесей перед подачей их в топку котлоагрегата [1]. Помол отходов деревопереработки достаточно трудоемкий процесс, так как лигноцеллюлозная биомасса имеет волокнистую структуру, которая достаточно хорошо сопротивляется измельчению при стандартных способах, например, в шаровой мельнице с круглыми мелющими телами. Снижение затрат на топливоприготовление в энергетике является одной из важнейших задач, а

решение наиболее эффективным способом измельчать и формировать смесевые топлива позволит увеличить экономическую привлекательность таких топливных композиций как уголь и биомасса в производстве тепла и электроэнергии. Вторая решаемая задача для совместного сжигания таких топливных смесей является их распыл. До сих пор нет решения об эффективной концентрации смесевых топлив, которые пригодны для совместного сжигания в горелочных устройствах котлоагрегатов. Эффективность распыления топлива во многом зависит от степени его помола и размера получаемой пыли [2]. Закон по сокращению выбросов азота (NO_x) на угольных электростанциях способствовал внедрению горелок эффективность которых, позволяет существенно снизить при сжигании угольной пыли содержание окислов азота и работать с наиболее мелкодисперсными частицами угля [3]. При совместном сжигании биомассы и угля размер частиц, попадающих в горелку, определяется оборудованием для измельчения или способом смешения. Для стандартных горелок размер угля, должен составлять около 75 мкм [4], а для биомассы около 1 мм. Научное обоснование наиболее эффективного способа приготовления смесевых топлив и их совместного распыла является основной задачей, решаемой в настоящем исследовании.

Целью данной работы является установление эффективного угла раскрытия факела при распылении смесевых топлив, сформированных на основе каменного угля и отходов лесопиления при различных методиках топливоприготовления.

Методика экспериментальных исследований

Смесевое топливо было сформировано на основе каменного угля марки Тоший (Алардинское месторождение, Россия), и отходов лесопиления (ООО «Дзержинский ЛПК», Томск, Россия) по двум методикам.

Первая методика: кусковой уголь измельчали в лабораторной мельнице Stegler LM-1000 до фракции менее 200 мкм. Измельченный уголь просеивали через систему сит. Фракция частиц угля составляла менее 100 мкм. Отходы деревообработки предварительно очищали от коры и мусора, сушили в течение суток для удаления избыточной влаги при температуре 293 К, а затем также просеивали для выделения частиц фракцией менее 200 мкм. После измельчения и просеивания, уголь и биомасса смешивались в барабанно-шаровой мельнице совместно с мелющими телами в соотношении по массе 1:1 в течение семи минут.

Вторая методика: перед размолотом уголь и биомасса подсушивались с целью снижения их влажности до значения не более 5 %. После предварительного высушивания, оба компонента помещались в керамический барабан шаровой мельницы, который заполнялся топливом на 40 %, с целью достичь максимальной эффективности помола. Масса смеси, загружаемой в барабан, в общем составляла 100 грамм. Соответственно, для смеси угля и древесины 90 % / 10 %, масса угля составляла 90 грамм, а масса древесины – 10 грамм. Следом в барабан помещались мелющие тела (металлические шарики диаметром 15 мм). Соотношение массы смесевое топлива и мелющих тел составляло 1:1. Смесь угля и древесной биомассы совместно размалывалась в мельнице непрерывно в течение 18 часов. После измельчения, смесь просеивалась через сито с размером ячеек 100 мкм.

Топливные смеси, сформированные двумя методиками, исследовали на определение угла раскрытия факела в экспериментальном стенде, который представлен на рисунке 1.

Далее приведено описание типичного эксперимента с топливной композицией. Мелкодисперсная топливная смесь массой 20 грамм помещалась в бункер топлива, соединенный с распыляющей пневматической форсункой (2), установленной в специальном цилиндре, имитирующем топочное устройство (1), далее выполнялся распыл топлива при давлении 3 бара [6], давление создавалось с помощью насосной станции (5). Фотофиксация струи выполнялась высокоскоростной камерой (4) при подсвечивании области исследования лазерным импульсом (3). Каждый эксперимент проводился в течение 60 секунд. Этого времени было достаточно для формирования стабильной струи и создания нужного количества кадров для расчета угла раскрытия факела с высокой точностью.

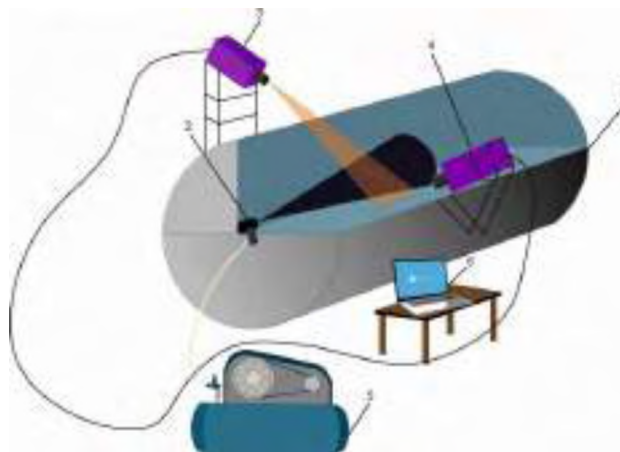


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда по исследованию характеристик распыла смесевых топлив:

1 – аэродинамический имитатор камеры сгорания; 2 – пневматическая форсунка с бочонком для подачи топлива; 3 – лазер; 4 – высокоскоростная видеокамера; 5 – компрессор для нагнетания воздуха; 6 – ноутбук

Результаты экспериментальных исследований

Типичные результаты экспериментальных исследований по распылению древесно-угольных смесей, приготовленных по первой методике, приведены на рисунке 2.



Рис. 2. Изменение угла раскрытия факела смесевых топлив, приготовленных при применении первой методики топливоприготовления и давлении равном 3 бара:

1 – уголь_100 %, древесина_0 %; 2 – уголь_90 %, древесина_10 %; 3 – уголь_75 %, древесина_25 %; 4 – уголь_50 %, древесина_50 %

Анализ угла раскрытия факела при распылении однородного угля, рисунок 2 (1), показал значение равное $24,3^\circ$. При увеличении доли древесной компоненты в смесевом топливе на 10 % угол раскрытия факела был установлен равным $24,75^\circ$, а при увеличении доли древесной компоненты в топливной смеси на 25 %, угол раскрытия факела увеличился на $25,6^\circ$, а при ее увеличении в топливе до 50 % – угол раскрытия факела увеличился на $26,55^\circ$. Увеличение угла раскрытия факела в смесевых топливах по отношению к углу раскрытия факела однородного угля, говорит о положительном влиянии древесной компоненты в смеси на характеристики распыления топлива в топке.

Аналогичным способом выполнены исследования со смесевыми топливами, сформированными на основе второй методики. На рисунке 3 приведены типичные результаты углов раскрытия факела при распылении однородного угля и топливных древесно-угольных смесей.

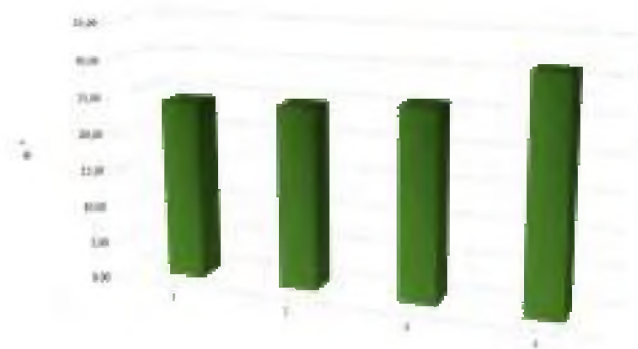


Рис. 3. Изменение угла раскрытия факела смесевых топлив приготовленных при применении второй методики топливоприготовления и давлении равном 3 бара:

1 – уголь_100 %, древесина_0 %; 2 – уголь_90 %, древесина_10 %; 3 – уголь_75 %, древесина_25 %; 4 – уголь_50 %, древесина_50 %

При распылении однородного угля (рисунок 3) анализ угла раскрытия факела показал значение равное $24,3^\circ$. При увеличении доли древесной компоненты в смесевом топливе на 10 % угол раскрытия факела установлен равным $24,8^\circ$, а при увеличении древесины в топливной смеси на 25 %, угол раскрытия факела увеличился до 26° . При увеличении доли древесины в смеси до 50 % угол раскрытия факела увеличился до $31,4^\circ$ по сравнению с углом раскрытия факела однородного угля.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что совместное приготовление угля и биомассы приводит к существенному увеличению угла раскрытия факела при распылении смеси, по сравнению с топливом, приготовленным по первой методике, что в последствии приведет и к увеличению эффективности сжигания таких смесевых топлив, за счет их более равномерного распределения по топке котлоагрегата.

Заключение

На основании результатов выполненных экспериментальных исследований по определению характеристик распыления сухого смесевоего топлива при применении двух методик топливоприготовления, можно сделать следующие выводы:

1. Добавление древесной биомассы в состав сухого топлива способствует увеличению угла раскрытия факела при распылении топлива в камере сгорания;
2. Угол раскрытия факела топливной смеси, приготовленной совместно, увеличивается по сравнению с углом раскрытия факела смесевых топлив, смешанных после отдельного измельчения. Для смеси угля и древесной биомассы в соотношении компонент равном 90 % / 10 % это изменение незначительно, и составило менее $0,05^\circ$. При соотношении этих же компонент равном 75 % / 25 %, угол раскрытия факела увеличился на $0,4^\circ$, а для смеси с равной концентрацией компонент, угол увеличился на $4,8^\circ$. При совместном помоле смеси в барабанно-шаровой мельнице в течение 18 часов, многогранные частицы угля способствуют более мелкому размалыванию волокнистой структуры древесины с натираем в нее мелких частиц угольной пыли, что в последствии не только положительно влияет на процессы распыления, но и на процессы воспламенения таких углей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. K. Savolainen, "Co-firing of biomass in coal-fired utility boilers," Appl Energy, vol. 74, no. 3–4, pp. 369–381, Mar. 2003, doi: 10.1016/S0306-2619(02)00193-9.
2. O. Williams et al., "Influence of mill type on densified biomass comminution," Appl Energy, vol. 182, pp. 219–231, Nov. 2016, doi: 10.1016/J.APENERGY.2016.08.111.
3. L. Suescún, E. Sanchez, M. Gómez, F. L. Garcia-Arias, and V. M. Núñez Zarantes, "Pulverised biomass and coal co-firing simulation using computational fluid dynamics: A numerical

- investigation into the aerodynamics of non-spherical particles and full scale combustion for pulverised fuel applications,” p. 53, 2012.
4. J. L. Afolabi, “The Performance of a Static Coal Classifier and Its Controlling Parameters,” Jun. 2012, Accessed: Oct. 14, 2022. [Online]. Available: /articles/thesis/The_Performance_of_a_Static_Coal_Classifier_and_Its_Controlling_Parameters/10107752/1.
 5. M. Mandø, L. Rosendahl, C. Yin, and H. Sørensen, “Pulverized straw combustion in a low-NO_x multifuel burner: Modeling the transition from coal to straw,” *Fuel*, vol. 89, no. 10, pp. 3051–3062, Oct. 2010, doi: 10.1016/J.FUEL.2010.05.016.
 6. S. A. Yankovskiy and A. D. Misyukova, “INVESTIGATION OF COMPOSITE FUEL SPRAYING CHARACTERISTICS,” *International Journal of Applied and Fundamental Research (Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований)*, no. №9 2022, pp. 70–74, 2022, doi: 10.17513/MJPFI.13443.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № FZES-2021-0008.

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

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ КАК ИСТОЧНИКА УГЛЕРОДА ДЛЯ СИНТЕЗА КАРБИДОВ

А.А. Гумовская¹, А.П. Корчагина²

Томский политехнический университет

ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5БМ11¹, группа 5БМ22²

Растущий спрос на материалы с уникальными свойствами для решения задач промышленности побуждает к развитию и изучению новых соединений. Одним из перспективных направлений развития современных материалов является высокотемпературная керамика. Одним из представителей семейства является карбид титана (TiC). Жаропрочность, тугоплавкость, высокая твердость, коррозионная стойкость, каталитическая активность и химическая инертность дают возможность использовать данный материал в передовых технологиях [1]. Карбид титана применяется в изготовлении конденсаторов с высокой плотностью энергии, селективных газовых фильтров для улавливания углекислого газа, датчиков газа, функциональной и конструкционной керамики и в фотокатализе [2–4]. Основными способами получения карбида титана являются карботермическое восстановление, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, электровзрыв проводников, методы лазерной абляции и различные плазменные методы [4–6].

На сегодняшний день производство материалов на основе возобновляемого сырья интересно не только из-за экологических вопросов, но и благодаря новым свойствам таких материалов. Древесный уголь обладает ячеистой структурой, прекрасными механическими свойствами, прочностью и низкой плотностью [7, 8, 9]. Таким образом, использование древесины, как источника углерода для синтеза карбида титана, один из новых путей развития данного материала.

Известным подходом к получению порошков высокотемпературной керамики является электродуговой синтез. Плазма дугового разряда позволяет обеспечить в реакционной зоне высокие температуры, а реализация данного метода в открытой воздушной среде с достижением эффекта экранирования реакционного объема генерирующимся потоком газов диоксида и монооксида углерода позволяет отказаться от вакуумного оборудования и упростить устройство дугового реактора.

В качестве исходного сырья были взяты технически чистый титан и углерод, полученный пиролизом из органических отходов. Для получения биоуглерода использовалась навеска цедры помело. Образец взвешивали на аналитических весах VIBRA HT-224RCE и помещали