1. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7– Новосибирск: «Норматика», 2020. – 499 с.
2. Руководство по эксплуатации блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ / НТЦ «Механотроника», г. Санкт-Петербург: 2023 – 109 с.
3. Федосеев А. М. Федосеев МА Релейная защита электроэнергетических систем: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. // М.: Энергоатомиздат. – 1992.
4. Чернобровов Н. В., Семенов В. А. Релейная защита энергетических систем // М.: Энергоатомиздат. – 1998. – Т. 4.– № 7.
5. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. М.: Энергоатомиздат, 2007 – 549 с.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЖИГАНИЯ И ГОРЕНИЯ ПЕЛЛЕТИРОВАННЫХ ТОПЛИВ ИЗ БИОМАССЫ

Шведов Д.К., Дорохов В.В., Г.С. Няшина Г.С.
Научный руководитель доцент Г.С. Няшина
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение. Биомасса представляет собой универсальное и широкодоступное сырье, которое может быть использовано для выработки тепловой энергии [1]. Объемы использования биомассы для производства тепловой энергии значительно увеличились за последние десятилетия. Это связано с тем, что биотоплива из древесных отходов являются возобновляемым источником энергии [2,3]. Использование биомассы в качестве углеродно–нейтрального ресурса имеет потенциал для сокращения выбросов парниковых газов, а также позволяет сохранить ископаемые ресурсы. Для увеличения энергетической плотности и удобства эксплуатации прибегают к пеллетированию и гранулированию биомассы [4,5]. На сегодняшний день характеристики зажигания и горения композиционных топливных пеллет на основе биомассы и различных групп отходов остаются малоизученными. Учитывая высокий энергетический и экономический потенциалы данного вида топлива, целесообразно провести комплексное исследование композиционных топливных пеллет с целью их дальнейшего вовлечения в топливный сектор.

Настоящая работа направлена на экспериментальное исследование характеристик зажигания и горения пеллетированного топлива. Рассмотрены топливные пеллеты на основе сосновых опилок. В качестве функциональной добавки использовались твердые бытовые отходы (картон и пластик с долей 5 %, 10 %, 15 % масс.).

Экспериментальное исследование. Схема экспериментального стенда, используемого для определения характеристик зажигания и горения пеллетированных топлив, представлена на рисунке 1. В качестве исследуемых топлив использовались пеллеты на основе древесной биомассы и добавок пластика, картона и смеси пластика с картоном. Температура в камере сгорания варьировалась от 700 °С до 900°С.

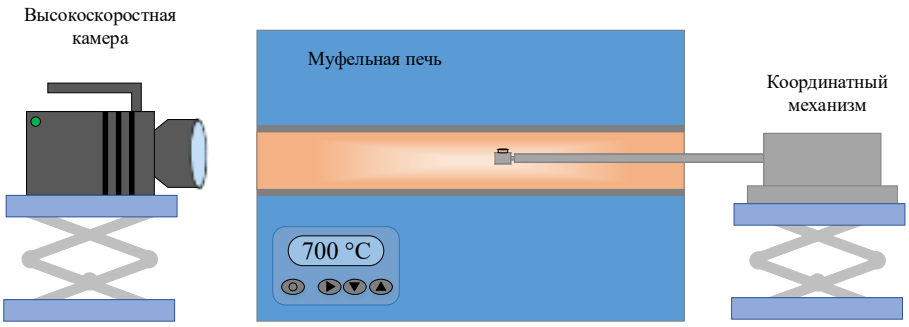

Рис. 1. Экспериментальный стенд

На рисунке 2 представлены зависимости времен задержки газофазного и гетерогенного зажигания исследуемых топливных пеллет от температуры окислительной среды в камере сгорания. Время задержки газофазного зажигания – период времени, проходящий с момента начала нагревания пеллетированного топлива до момента начала зажигания парогазовой оболочки вокруг топлива. Задержка гетерогенного зажигания – это временной интервал между моментом начала нагревания топлива до момента инициации зажигания твердого остатка. Как ожидалось, повышение температуры окислительной среды приводит к снижению времен задержки газофазного и гетерогенного зажигания. Времена задержки газофазного зажигания снизилось на величину до 3,6 раз, а для гетерогенного зажигания сократились на величину до 1,4 раз.

Использование добавок картона, пластика и смеси картона с пластиком во всех экспериментах привело к увеличению времен задержки газофазного и гетерогенного зажигания исследуемых образцов. Причиной этого служит факт того, что при использовании добавок регистрировалось увеличении плотности образцов, что в свою очередь снижает скорость выхода летучих и в последствии уменьшает скорость накопления необходимой для зажигания концентрации летучих.

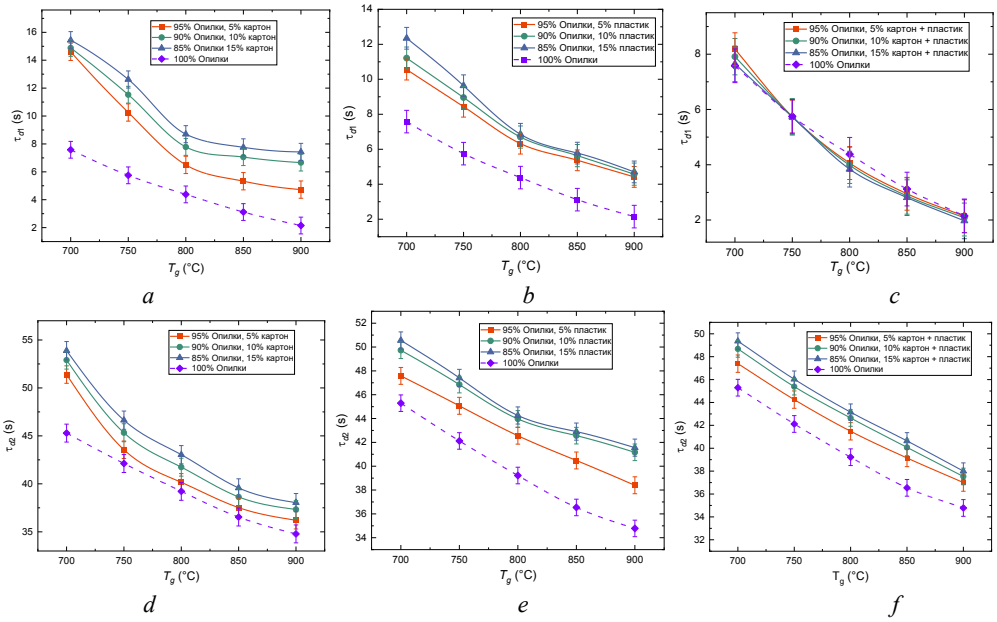

Рис. 2. Зависимости времен задержки газофазного (a, b, c) и гетерогенного (d, e, f) зажигания исследуемых топливных пеллет от температуры в камере сгорания

В ходе экспериментов установлено, что гетерогенное зажигание исследуемых пеллет происходит после выгорания парогазовой оболочки, сформировавшейся при выходе летучих в приповерхностном слое топлива. Соответственно, длительность задержки газофазного зажигания и горения оказывала непосредственное влияние на время задержки гетерогенного зажигания. Увеличение доли добавки картона и пластика приводит к значительному росту времени задержки газофазного зажигания. Несмотря на это, при использовании в качестве добавки смеси картона с пластиком наблюдается интересная особенность. Времена задержки газофазного зажигания данных смесевых пеллет оказались сопоставимы с пеллетами без добавок. В зависимости от температуры окислительной среды, различия во времени задержки газофазного зажигания составили не более 3-8 %. Данный эффект обусловлен совместным термическим разложением пластика и целлюлозы, которая в значительном количестве содержится в картоне. В данном исследовании величину синергетического эффекта на времена задержки газофазного зажигания можно оценить, как разницу во временах задержки газофазного зажигания между топливными пеллетами с добавками смеси картона и пластика 10 % и пеллетами с добавками картона и пластика с долями 5 %, поскольку в составе смеси соотношение картона и пластика составляет 1:1. Благодаря высокой доле целлюлозы в составе картона удается добиться столь значительного снижения времен задержки зажигания. В зависимости от температуры окислительной среды, благодаря совместному использованию картона и пластика в составе трехкомпонентных топливных пеллет удается снизить времена задержки зажигания на величину от 1,34 до 2,24 раз.

Заключение. Экспериментально установлено, что наименьшими временами задержки зажигания характеризуются композиционные топлива с использованием смеси картона и пластика в качестве добавки. В зависимости от температуры окислительной среды, благодаря совместному использованию картона и пластика в составе трехкомпонентных топливных пеллет удается снизить времена задержки зажигания на величину от 1,34 до 2,24 раз. Максимальные задержки газофазного зажигания регистрировались для образцов, имеющих в своем составе картон с долей 15 %. Время задержки газофазного зажигания таких пеллет, по сравнению с образцами без добавок, увеличилось до 3,45 раз.

Литература

1. Faraca G., Tonini D., Astrup T. F. Dynamic accounting of greenhouse gas emissions from cascading utilisation of wood waste // Science of the Total Environment. – 2019. – T. 651. – C. 2689-2700.
2. Schipfer F. et al. The European wood pellets for heating market - Price developments, trade and market efficiency // Energy. 2020. Vol. 212. P. 118636.
3. de Almeida Moreira B.R. et al. Fuel-flexible biomass off-gassing: The impact of antioxidant spent coffee grains on emissions of CO2, CO, CH4, and VOCs, physical deposits, and combustion in wood pellets // Ind. Crops Prod. 2024. Vol. 208. P. 117748.
4. 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.
5. Martínez-Guido S.I. et al. 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.