

Рис. 4. Динамика остывания поверхностей ограждающих конструкций и оборудования после прекращения условий января: рабочая смена (а) и спустя 70 минут после окончания рабочей смены (б)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грахов В.П., Мохначев С.А., Егорова В.Г. Эффективность энергосберегающих мероприятий в жилищном строительстве // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-1. – С. 273–280.
2. Смирнов Н.Н. Совершенствование систем по созданию динамического микроклимата для помещений с энергоэффективными светопрозрачными конструкциями: дис. ... канд. техн. наук. – Иваново, 2022. – 333 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАЖИГАНИЯ И ГОРЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ

А.В. Губин<sup>1</sup>, К.Б. Ларионов<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup> Севастопольский государственный университет, avgubin@sevsu.ru

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет, avg77@tpu.ru, aka2@tpu.ru

<sup>3</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, asg47@tpu.ru

<sup>4</sup> Университет науки и технологий МИСиС, laryk070@gmail.com

Изделия из древесины окружают человека в его повседневной жизни – это элементы декора, мебель, посуда, строительные материалы и т. д. Вследствие повышения спроса на данный материал происходит и постоянное развитие промышленности, использующей в качестве основного материала – дерево. Главная проблема любого вида промышленности – утилизация и переработка отходов, которые образуются на всех этапах производства [1]. Формирование отходов, в том числе, происходит и из-за различной бытовой деятельности: ремонты, выброс старой мебели и т. д. Стоит уделить отдельное внимание износу старой мебе-

ли, ведь, в большинстве случаев, она подвергается захоронению на свалках. Использование биомассы в качестве возобновляемого источника энергии может стать перспективным методом утилизации отходов с хорошими экономическими и экологическими показателями.

В рамках приведенного исследования в качестве исходных образцов использованы опилки следующих видов древесины: ель, береза, сосна, лиственница, а также отходы мебельного производства. Определение технических характеристик (влажность, зольность, выход летучих соединений и низшая теплота сгорания) были определены согласно стандартным методикам: ГОСТ 9516–92, ГОСТ 11022–95, ГОСТ Р 55660–2013 и ГОСТ 147–2013 соответственно. Элементный состав был определен с использованием анализатора элементного состава Flash 2000 CHNS (Thermo Fisher Scientific, США). Методика подготовки образцов включала два этапа: первый – измельчение исходного сырья, второй – фракционирование с использованием лабораторных сит. Размер ячеек сетки менее 80 мкм. Для создания топливных пеллет использовался гидравлический пресс, давление на одну пеллету составляло около 2 т. Габаритные размеры образцов: высота – 12 мм, диаметр – 10 мм.

В табл. 1 представлены технические характеристики исследуемых образцов древесных отходов.

Отличительной особенностью древесины как биомассы, является отсутствие в ее составе топливной серы, что говорит о том, что эмиссия оксидов серы при горении образцов исключена. По данным измерения теплоты сгорания, наибольшее значение наблюдалось у образца ели. Это обусловлено наибольшим содержанием несвязанного углерода в элементном составе, а также относительно низким значением зольного остатка.

Таблица 1. Технические характеристики исходных образцов

Тип древесины	Влажность, $W^r$	Зольность, $A^d$ мас. %	Летучие вещества, $V^{daf}$	Теплота сгорания, $Q_r^i$ МДж/кг	Элементный состав <sup>d</sup> , %				
					C	H	N	S	O
Ель	5,6	0,6	68	19,0	49,3	6,2	0,6		43,9
Береза	9,8	0,1	74	17,6	45,5	5,9	0,4		48,2
Сосна	6,7	0,9	71	18,2	47,4	5,8	0,5		46,3
Лиственница	2,1	0,6	69	17,2	47,4	5,9	0,7		46
Мебель	7,1	1,0	69	17,9	45,0	6,0	5,6		43,4

$r$  – рабочее состояние,  $d$  – сухое состояние,  $daf$  – сухое беззольное состояние

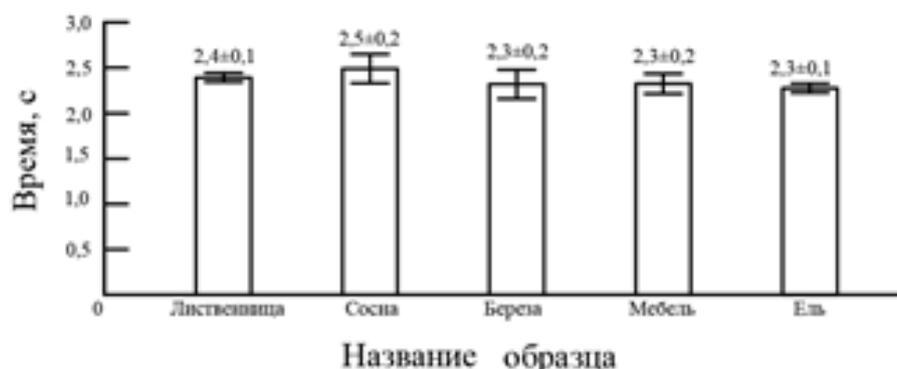


Рис. 1. Значения времени задержки зажигания образцов

Реакционная способность топлива оценивалась с помощью лабораторного стенда, включающего в себя: муфельную печь, координационное устройство с топливной навеской, приводимое в движение с помощью шагового двигателя, газоанализатор и высокоскоростная видеокамера [2]. Температура греющей среды в зоне горения  $T_g = 700$  °С.

Время задержки зажигания принималось как разница между кадром, на котором начинается процесс горения образца и моментом попадания топливной пеллеты в фокус камеры. Полученные значения реакционной способности, как показано на рис. 1, имеет схожие значения для всех типов древесины, что связано с похожими значениями их технических характеристик. Наибольшее значение параметра  $\tau_i$  прослеживается для образца сосны ( $\tau_i = 2,5 \pm 0,2$  с), а наименьшее для образца ели ( $\tau_i = 2,3 \pm 0,2$  с).

На рис. 2 представлены кадры зажигания и последующего развивающегося пламенного горения исследуемых образцов древесных отходов.

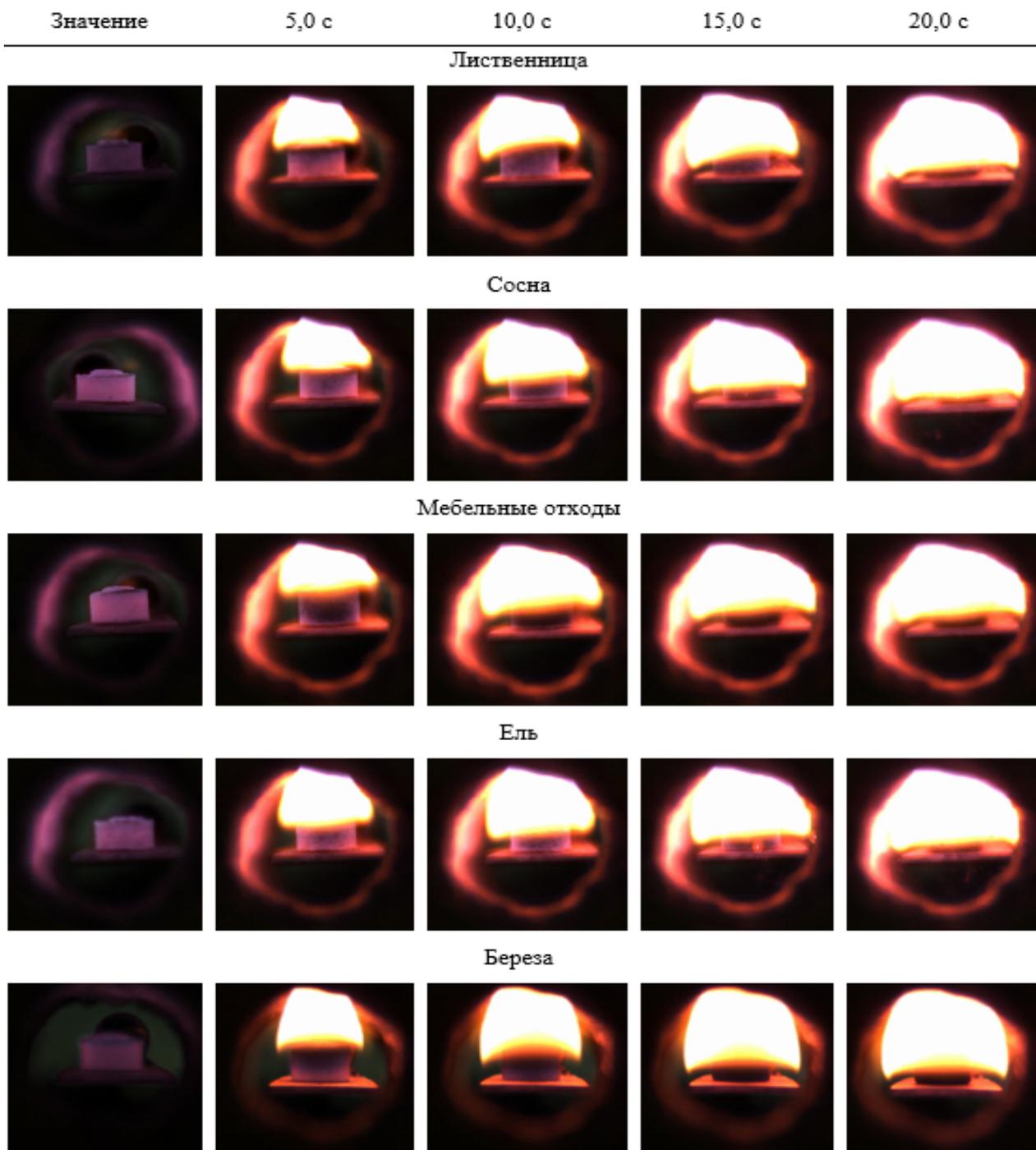


Рис. 2. Кадры высокоскоростной видео фиксации процессов зажигания и горения исследуемых образцов, изготовленных из древесных отходов

Ранняя стадия процесса горения сопровождалась образованием микровзрывов, что вызвано выделением относительно большого количества горючих газов. Интенсивный поток газов способствует уносу мелких частиц с поверхности топливной пеллеты, которые впоследствии зажигаются и горят во взвешенном состоянии. Следующая стадия горения – окисление образовавшегося коксового остатка.

В работе исследованы физико-химические характеристики отходов лесотехнической промышленности, оценены их реакционная способность и приведена визуализация процессов зажигания и пламенного горения. Разница между максимальным и минимальным значениями времени задержки зажигания составила около 7–8 %.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Степанов В.И., Мезина Н.А. Отходы лесной промышленности и их использование в национальном хозяйстве // Вестник РЭА им. Г. В. Плеханова. – 2012. – № 3.
2. Slyusarsky K.V. и др. Ignition and Emission Characteristics of Waste Tires Pyrolysis Char Co-Combustion with Peat and Sawdust // Energies. – Vol. 16. – P. 4038. 10.3390/en16104038.
3. Смертин Н.В. Актуальность применения отходов лесной и сельскохозяйственной промышленности при производстве строительных материалов / Н.В. Смертин, С.Н. Долматов // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 04–05 июня 2020 года. – Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2020. – С. 243–246.
4. Макарычев С.В. Теплофизические свойства термопластов, изготовленных на основе древесины из отходов лесной промышленности / С.В. Макарычев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6(128). – С. 139–142.
5. Кочева М.Н. Использование древесных отходов в лесной промышленности и разработка предложений по переработке их на предприятиях Республики Коми / М.Н. Кочева // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2016. – Т. 20, № 3. – С. 35–40.

## **МОДЕЛЬ ТЕРМИЧЕСКОЙ ИОНИЗАЦИИ МОЛЕКУЛ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ПЛАМЕНИ**

**Д.С. Баршутина**

*Тамбовский государственный технический университет,  
ЭПТ, гр. БТЭ-221*

Научный руководитель: С.Н. Баршутин, к.т.н., доцент ЭПТ ТГТУ

Основным источником для производства тепловой и электрической энергии остаются традиционные виды топлива. Повышения эффективности преобразования потенциальной энергии топлива в тепловую или электрическую является актуальной задачей.

Одним из способов повышения эффективности преобразования энергии является увеличение количества ионизированных состояний газообразных компонентов пламени.

Рассмотрим процесс горения топлива в газообразной фазе. Основными процессами ионизации в пламени являются: термическая ионизация, которая описывается уравнением Саха и химиоионизация, определяемая процессом химической реакции, при которой высвобождаемая энергия приводит к ионизации компонента пламени. Так как на процессы химиоионизации повлиять в заданной системе не представляется возможным, ввиду их зависимости только от компонентного состава, то для повышения степени ионизации подробно рассмотрим термическую ионизацию.