

УДК 543.825.3

*А. П. Позолотин, С. М. Решетников,
И. А. Зырянов, А. Г. Будин*

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА САЖЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ ДРЕВЕСИНЫ В ВЫСОКОЭНТАЛЬПИЙНОМ ПОТОКЕ

Проведено исследование горения сосны и березы в высокоэнтальпийном потоке. Получены данные о химическом составе сажи сосны и березы, которые указывают на различные концентрации углерода и кислорода, которые не зависят от количества окислителя в зоне горения. Показано, что сажа сосны и березы отличается по морфологическим особенностям. Установлено уменьшение толщины коксового слоя при увеличении плотности потока кислорода в зоне горения. Приведены зависимости толщины коксового слоя от плотности теплового потока. Полученные данные указывают на интенсивный процесс горения древесины, который отличен от стандартных огневых испытаний, проведенных по ГОСТ. Проведенная работа является частью экспериментальных исследований, направленных на изучение процесса горения в камере модельного гибридного ракетного двигателя (ГРД).

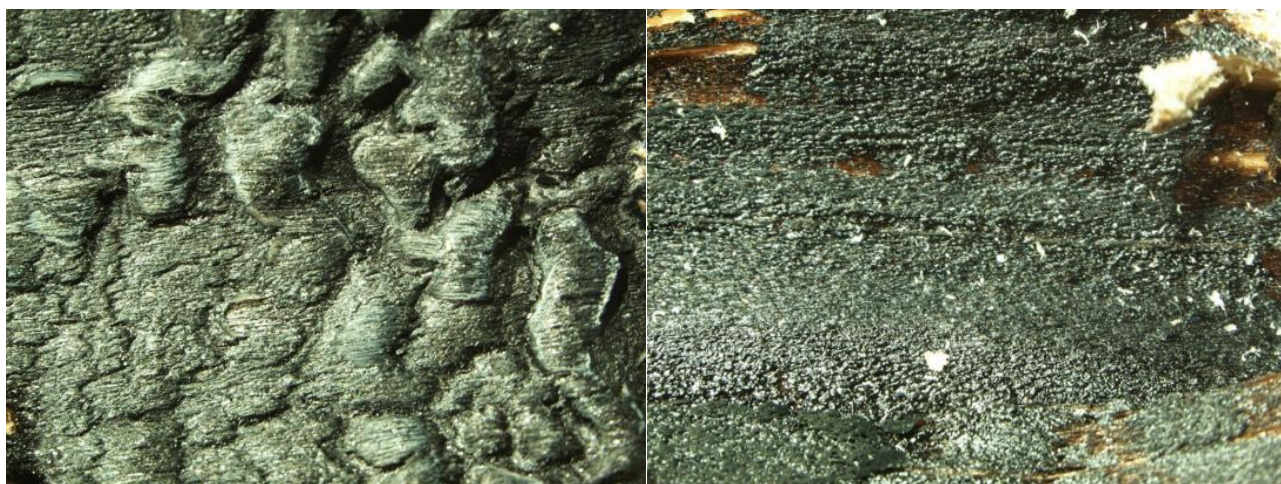
Ключевые слова: горение древесины, высокоэнтальпийный поток, гибридный ракетный двигатель, сажа.

Исследование процесса горения древесины в условиях высокоэнтальпийного потока является актуальной задачей. С точки зрения энергетики древесина является возобновляемым углеводородным топливом, которое имеет перспективы использования в ракетно-космической отрасли, (в частности, применение её в качестве топлива для гибридных ракетных двигателей [1], а также в установках по получению тепловой и электрической энергии). С другой стороны, параметры горения необходимы для прогнозирования и предотвращения пожаров [1, 2]. Изучение процесса

сажеобразования необходимо для решения задачи управления процессом горения древесины.

Экспериментальная установка представляет собой гибридный ракетный двигатель, все параметры которого подробно описаны в работе [5]. В качестве образцов древесины использовались береза с относительной влажностью 6%, сосна с влажностью 5%. Методика определения параметров горения образцов представлена в работе [4]. Изучение сажи производилось с помощью фотосъемки с использованием микроскопа с 1000 кратным увеличением, химический состав сажи определялся с помощью атомно-силового микроскопа.

При горении березы с увеличением расхода окислителя и плотности теплового потока от пламени к к-фазе, поверхность сажи представляет собой «чешуйки» рис.1а. Процесс образования неровностей («чешуек») указывает на различную скорость горения компонентов березы (лигнин и целлюлоза). Сажа сосны представляет собой мелкие спекшиеся зерна рис. 1б. Характер такой структуры обусловлен наличием смолы в составе сосны.

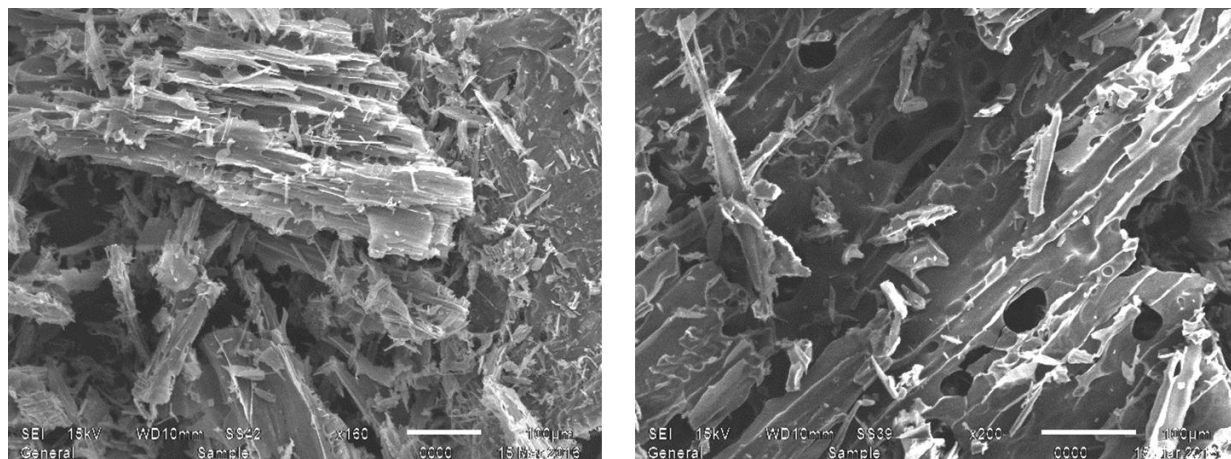


а)

б)

Рис. 1. Фотографии поверхности горения: а) березы; б) сосны

Более детальный вид частиц приведен на рис. 2. Частицы сажи березы имеют форму нитей рис. 2а, частицы сажи сосны представляют собой большие образования в виде пленки рис. 2б.



А) Береза

Б) Сосна

Рис. 2. Фотографии сажевых частиц березы и сосны

На рис. 3 представлен график зависимости химического состава сажи от плотности потока окислителя. Как видно из рис. 3 преимущественно в состав сажи входят 2 элемента: углерод (С) и кислород (О). Менее 1% магний, калий, кальций, марганец. Атомный состав по С и О зависит от породы древесины. Процентное содержание химических элементов не зависит от плотности потока окислителя.

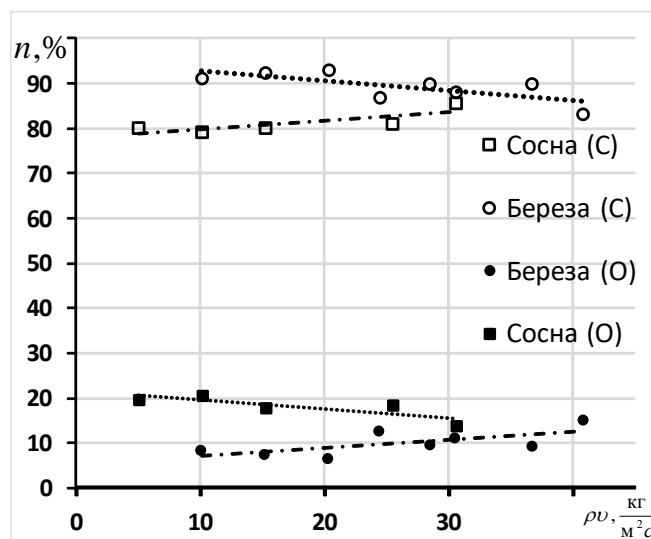


Рис. 3. Атомарный состав сажи

Согласно рис. 4 плотность потока окислителя оказывает влияние на толщину коксового слоя.

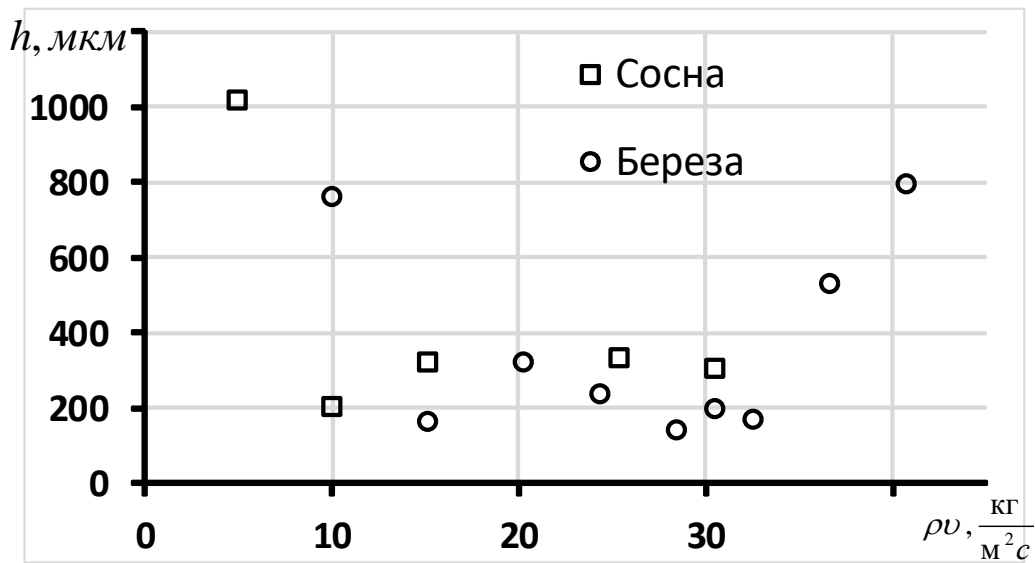


Рис. 4. Зависимость толщины сажи от расхода окислителя

При увеличении расхода окислителя толщина сажи сосны уменьшается в 5 раз, для березы в 4 раза. Данное влияние обусловлено режимом горения, оптимум которого достигается в промежутке от 10-30 $\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$. Для сравнения величины сажеобразования при горении с различными значениями тепловых потоков построен график рис. 5.

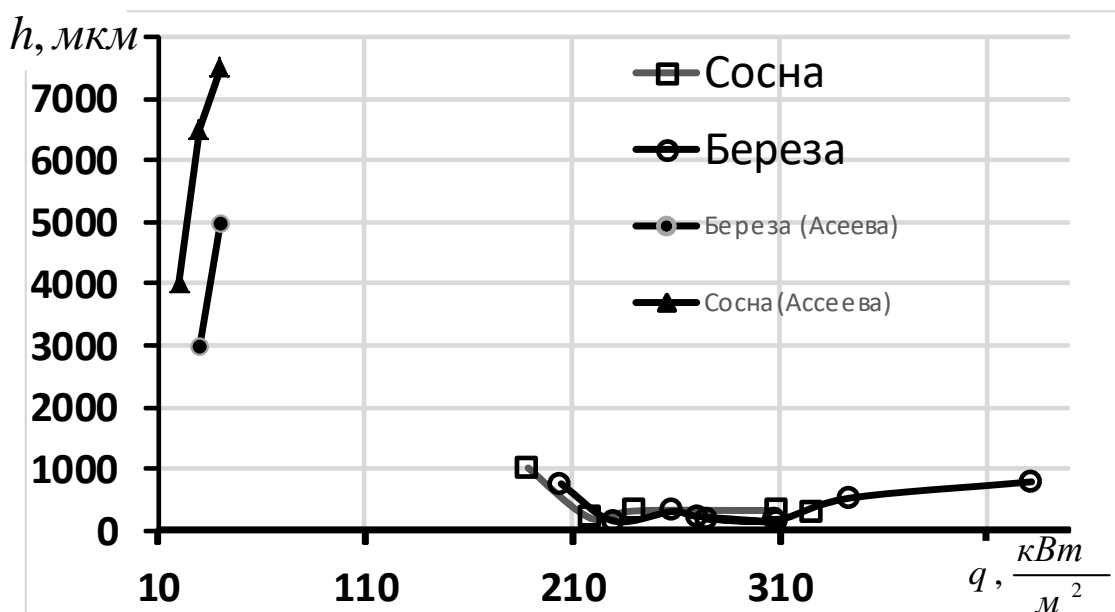


Рис. 5. Зависимость толщины коксового слоя от плотности теплового потока

Данные работы [1], в которой проведены испытания при стандартных требованиях к оценке пожароопасности деревянных конструкций существенно

отличаются от полученных нами результатов. Толщина сажи при горении в высокоэнтальпийном потоке уменьшается в 5-7 раз.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. При горении в высокоэнтальпийном потоке морфология частиц сажи березы и сосны различна.

2. Химический состав коксового слоя зависит от породы древесины, но не зависит от плотности потока окислителя.

3. Толщина коксового слоя в 5-7 раз меньше, чем при стандартных огневых испытаниях.

Список литературы

1. *Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б.* Горение древесины и её пожароопасные свойства : монография. М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. 262 с.

2. *Валендик Э. Н., Косов И. В.* Тепловое излучение лесных пожаров и возможное его действие на древостой // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25. № 1–2. С. 88–92.

3. *Иванов Н. Н., Иванов А. Н.* К использованию гибридных ракетных двигателей на космических аппаратах // Вестник ФГУП НПО им. С. А. Лавочкина. 2010. № 3. С. 50–55.

4. *Позолотин А. П.* Методика экспериментального исследования горения древесины в высокоэнтальпийном потоке / А. П. Позолотин, С. М. Решетников, И. А. Зырянов, А. Г. Будин, П. Н. Шаурко // Общество, наука, инновации (НПК-2016) : ежегод. открыт. всерос. науч.-техн. конф., 18–29 апр. 2016 : сб. материалов / Вят. гос. ун-т; отв. ред. С. Г. Литвинец. Киров, 2016. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) С. 1746–1751.

5. *Решетников С. М.* Влияние электростатического поля на скорость горения в гибридном ракетном двигателе / С. М. Решетников, И. А. Зырянов, А. П. Позолотин, А. Г. Будин // Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. 2015. Т. 71. С. 52–57.

ПОЗОЛОТИН Александр Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной физики, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: firewcross@mail.ru

РЕШЕТНИКОВ Станислав Михайлович – доктор технических наук, профессор, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: rsm@e-kirov.ru

ЗЫРЯНОВ Илья Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной физики, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: b185@mail.ru

БУДИН Артемий Геннадьевич – аспирант, ассистент кафедры инженерной физики, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: суперсоус@rambler.ru