

УДК 614.84

bezzaponnay@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД МЕТОДАМИ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

STUDY OF THE FIRE HAZARD OF WOOD VARIOUS ROCKS BY THERMAL ANALYSIS METHODS

*Беззапонная О. В., кандидат технических наук, доцент,
Красильникова М. А., Евсеенкова А. М., Глухих П. А.,
Макаркин С. В., кандидат юридических наук, доцент,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Bezzaponnaya O., Krasilnikova M., Evseenkova A.,
Glukhikh P., Makarkin S.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

Представлены результаты исследования термоокислительной деструкции древесины разных пород (березы, липы, лиственницы, осины, сосны), а также показатели их пожарной опасности методом синхронного термического анализа. Результаты исследований показали, что наибольшей пожарной опасностью среди исследуемых пород древесины характеризуется липа (обладает наименьшими значениями температур воспламенения и самовоспламенения и наибольшей теплотой сгорания).

Ключевые слова: древесина различных пород, метод синхронного термического анализа, горючесть, температура воспламенения, температура самовоспламенения.

The results of the study of thermal oxidative destruction of wood of different species (birch, linden, larch, aspen, pine), as well as indicators of their fire hazard by the method of synchronous thermal analysis are presented. The research results showed that the linden tree is characterized by the greatest fire hazard among the investigated wood species (it has the lowest values of ignition and autoignition temperatures and the highest heat of combustion).

Keywords: wood of various species, method of synchronous thermal analysis, combustibility, ignition temperature, autoignition temperature.

Введение

Древесина является одним из самых распространенных строительных материалов, однако при этом характеризуется высокой горючестью и, соответственно, высокой пожарной опасностью. Известно, что горение древесины может протекать в двух режимах (гомогенного и гетерогенного горения (тления), а наибольший выход горючих газов при термическом разложении древесины, происходит в интервале температур 300÷450 °С. Анализ пожаров в зданиях с применением деревянных конструкций, отделочных и облицовочных

древесных материалов свидетельствует о том, что пожарная опасность данных объектов определяется несколькими составляющими: высокой интенсивностью тепловыделения при горении древесины и ускоренной динамикой развития пожара. Все эти факторы представляют значительную угрозу для жизни и здоровья людей, находящихся в зданиях.

К настоящему времени накоплен большой объем материала по исследованию процессов пиролиза и термоокислительной деструкции древесины [1–5]. Авторы работ отмечают, что зачастую трудно сравнить (сопоставить) полученные результаты из-за

отсутствия информации о породе древесины или описания ее характеристик, а также условий проведения исследований (влажности, химического состава, среды исследования). В связи с этим актуальны исследования по определению физико-химических характеристик различных пород древесины, включая показатели их пожарной опасности.

Химический состав древесины разных пород колеблется в определенных пределах. Известно, что древесина состоит из целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, глюкозы, смолы, смоляных кислот, эфирных масел и других компонентов. Состав определяет свойства и характеристики материала, в частности показатели пожарной опасности. Знание этих показателей позволяет характеризовать материал с позиций пожарной опасности, а также проводить идентификацию исследованных материалов в рамках пожарно-технической экспертизы. Причем знание закономерностей термолитиза исследуемого материала, в частности древесины, позволяет еще и проводить диагностику температуры воздействия на материал и место нахождения очага пожара [4]. Поскольку химический состав различных пород древесины в определенной степени различается, то и показатели их пожарной опасности, соответственно, также отличаются. Для снижения погрешности методик диагностики температуры воздействия и очага пожара необходимо знать закономерности термоокислительной деструкции различных пород древесины.

Для выявления характеристик термоокислительной деструкции древесины при воздействии на нее высоких температур, характерных для стандартного (целлюлозного) режима пожара, особенно ценно применение современных методов термического анализа, в частности, термогравиметрического (ТГ) анализа, дифференциального термогравиметрического метода (ДТГ) и метода дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), позволяющих количе-

ственно оценить термоаналитические характеристики (зольный остаток, потерю массы, скорость потери массы и др.) исследуемого природного полимера, а также показатели пожарной опасности.

Методика проведения исследований

Исследования образцов древесины различных пород в виде стружки с влажностью $12 \pm 1\%$ проводили методом синхронного термического анализа на приборе Netzsch STA 449 F5 Jupiter в среде воздуха при скорости нагрева $20\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$, в корундовых тиглях.

По ТГ-, ДТГ- и ДСК- кривым с помощью программного обеспечения Proteus Thermal Analysis были определены следующие термоаналитические характеристики:

- температуры (T , $^\circ\text{C}$) при потере массы 40% ;
- потеря массы (Δm_t , %) при фиксированном значении температуры $300\text{ }^\circ\text{C}$ и $500\text{ }^\circ\text{C}$ (ДСК-максимумов);
- зольный остаток, % при температуре $700\text{ }^\circ\text{C}$ (температуре окончания процесса термического разложения и горения древесины);
- значения температур при максимумах скорости потери массы (ДТГ-максимумов);
- температуры максимумов тепловых эффектов, (T , $^\circ\text{C}$);
- суммарный тепловой эффект.

Полученные в ходе термического анализа ТГ-, ДТГ- и ДСК- кривые трех параллельных исследований были обработаны и проанализированы с использованием программного обеспечения Proteus Thermal Analysis.

Результаты исследований и их обсуждение

Термограммы процесса термоокислительной деструкции исследуемых пород древесины: березы, липы, лиственницы, осины, сосны приведены на рис. 1–5 соответственно.

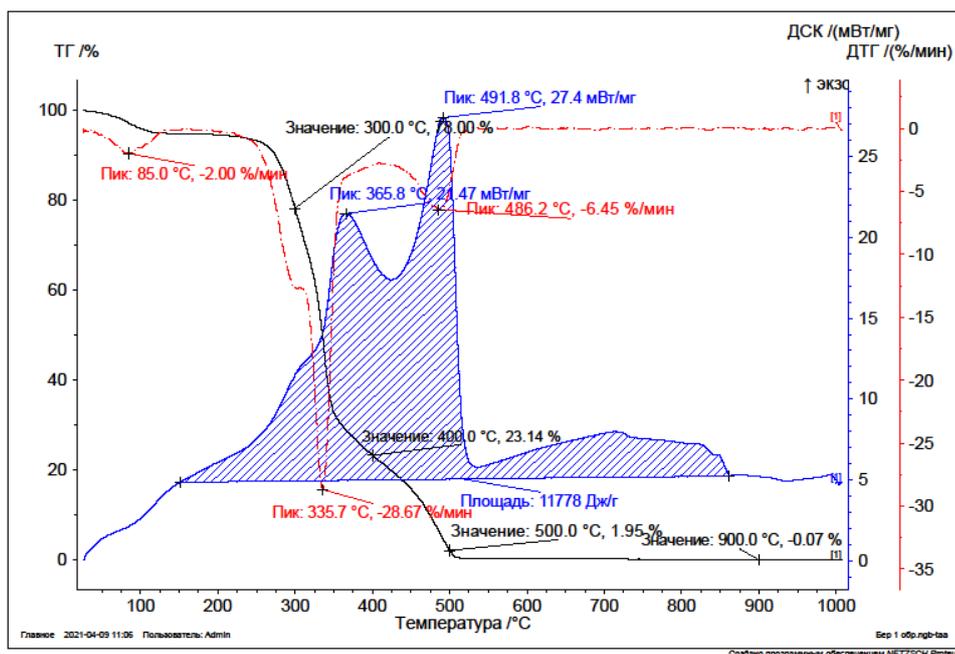


Рисунок 1. Термограмма древесины березы

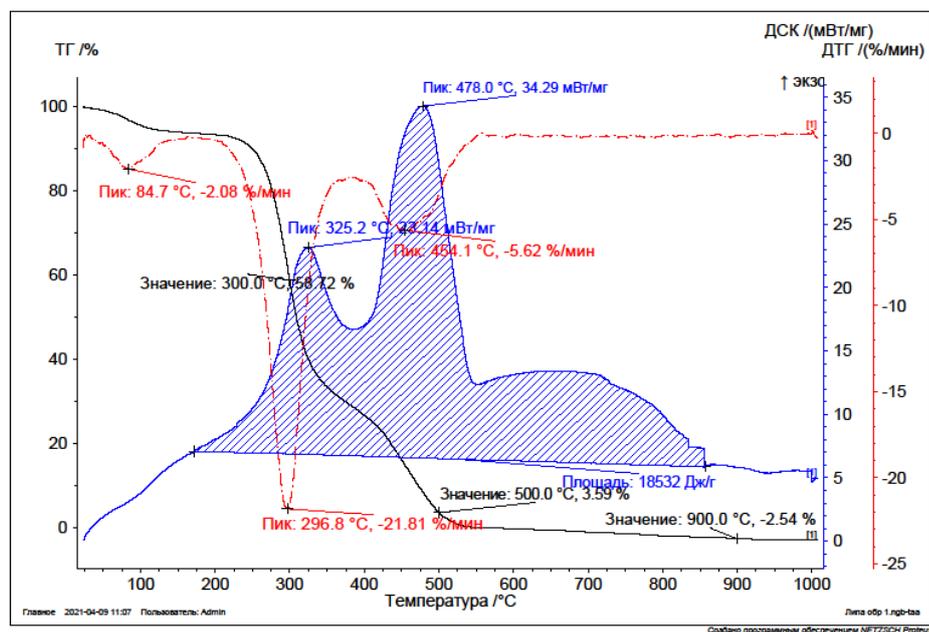


Рисунок 2. Термограмма древесины липы

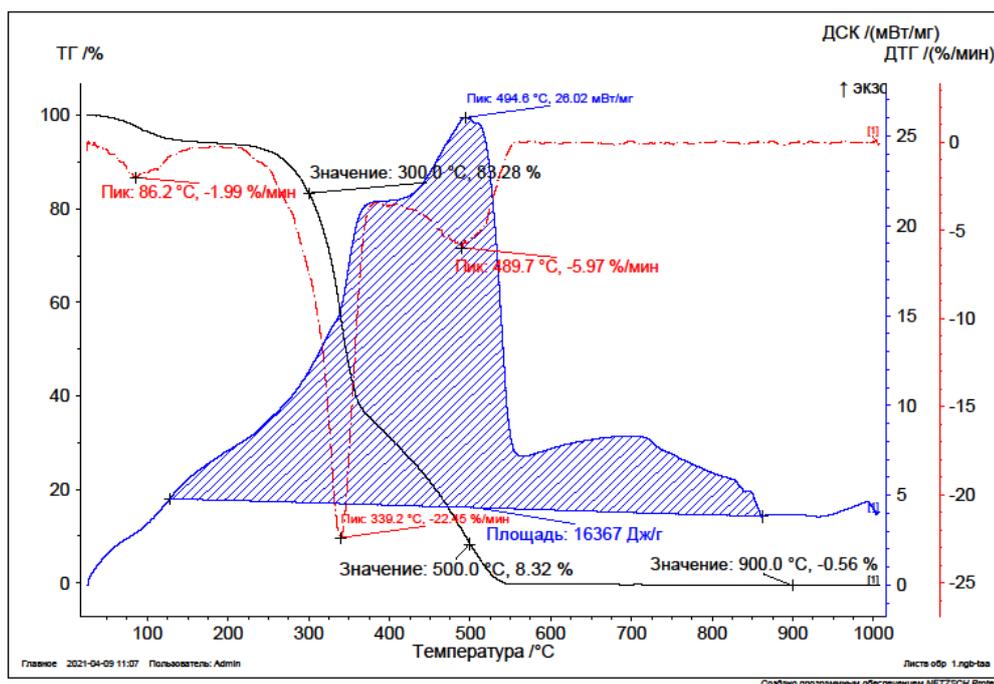


Рисунок 3. Термограмма древесины лиственницы

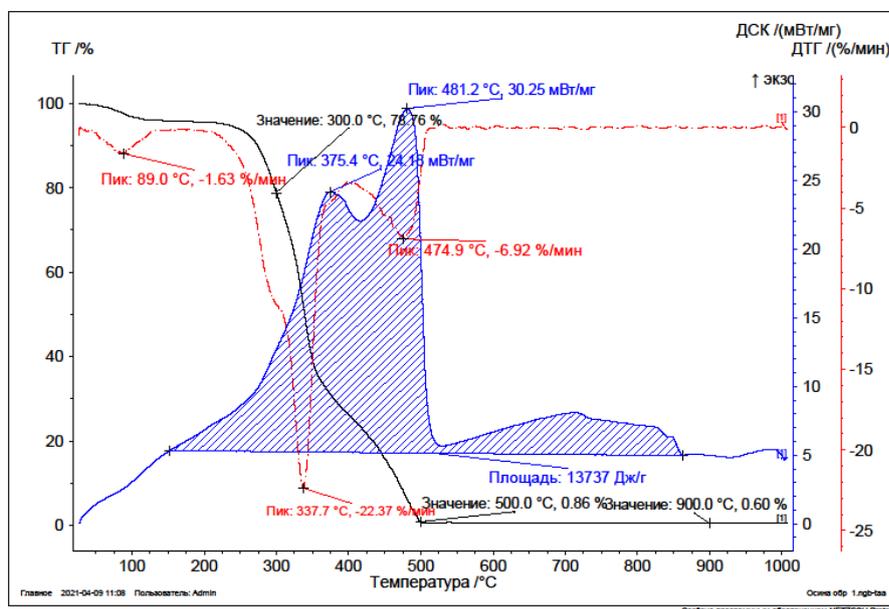


Рисунок 4. Термограмма древесины осины

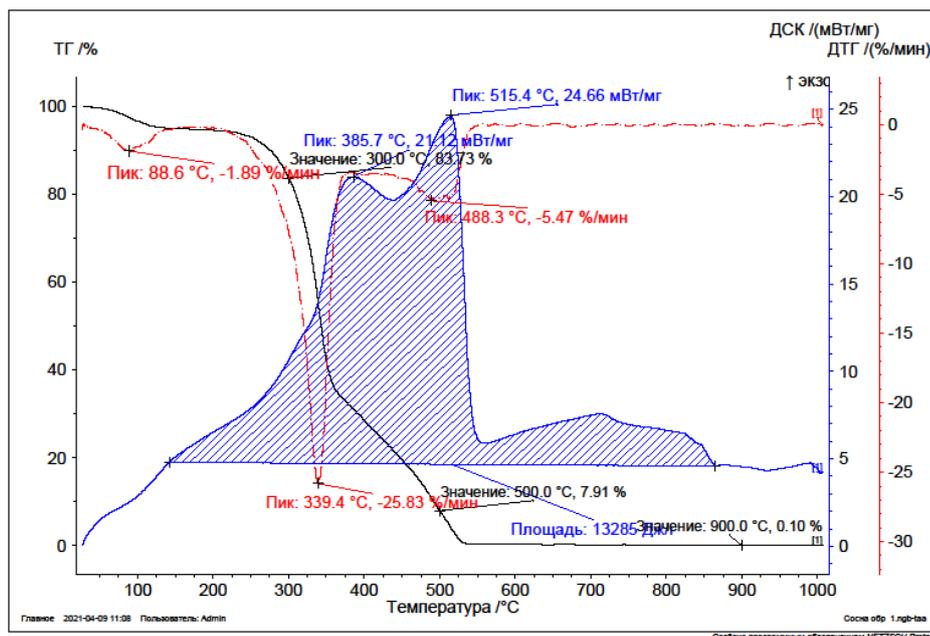


Рисунок 5. Термограмма древесины сосны

Анализ ТГ-кривой на представленных термограммах свидетельствует о трехстадийном процессе термоллиза образцов древесины (с тремя ступенями на ТГ кривой) и тремя ДТГ пиками (на ДТГ кривой). Первая стадия – дегидратация (испарение влаги), вторая стадия – разложение и окисление древесины с выделением горючих и негорючих газов, третья стадия – карбонизация и окисление (выгорание) кокса.

Потеря массы образцами разных пород древесины практически завершается при температурах 550÷600 °С. Наиболее выраженный ДТГ-пик наблюдается в интервале температур 25÷400 °С и свидетельствует об интенсивном протекании процесса термоокислительной деструкции древесины с выделением горючих и негорючих газов,

сопровождающимся интенсивной потерей массы. Максимум третьего ДТГ-пика свидетельствует о выгорании конденсированных ароматических структур древесины. Комплексный экзотермический пик характеризует выгорание летучих горючих газов и пенококса (конденсированных ароматических соединений) соответственно. Значения потери массы при температурах 300 °С и 500 °С были выбраны не случайно, так как именно при этих температурах наблюдаются максимумы экзотермических ДСК пиков.

Термоаналитические характеристики, полученные с использованием программного обеспечения Proteus Thermal Analysis, приведены в табл. 1–3.

Таблица 1

Результаты термогравиметрического анализа древесины различных пород

Вид древесины	Зольный остаток (%) при температуре 900 °С	Потери массы (%) при:	
		300 °С	500 °С
Береза	0,07	22,00	98,05
Лиственница	0,56	16,72	91,68

Осина	0,60	21,24	99,14
Сосна	0,10	16,27	92,09
Липа	2,54	41,28	96,41

Анализ представленных результатов свидетельствует о том, что наименьшими значениями потери массы при температурах 300 °С и 500 °С и соответственно наибольшей термостойкостью характеризуются сосна и лиственница, а наибольшими – липа.

То есть процесс пиролиза липы протекает немного интенсивнее, чем у других пород древесины. Наибольшим зольным остатком характеризуется также липа, что указывает на более высокое содержание минеральных компонентов в ее составе.

Таблица 2
Результаты дифференциального термогравиметрического анализа
древесины различных пород

Вид древесины	Температура ДТГ-пиков (°С)			Скорость потери массы по ДТГ-пикам (%/мин) соответственно		
	Береза	85,0	335,7	486,2	2,00	28,67
Лиственница	86,2	339,2	489,7	1,99	22,45	5,97
Осина	89,0	337,7	474,9	1,63	22,37	6,92
Сосна	88,6	339,4	488,3	1,89	25,83	5,47
Липа	84,7	296,8	454,1	2,08	21,81	5,62

Результаты анализа ДТГ кривых свидетельствуют о том, что максимумы потери массы всех трёх ДТГ пиков наступают при меньших температурах у липы, что свиде-

тельствует о лучшей возгораемости этой породы древесины. Самой высокой скоростью потери массы отличается береза, т. е. данная порода быстрее горит и выгорает.

Таблица 3
Результаты анализа дифференциальной сканирующей калориметрии
древесины различных пород

Вид древесины	Температуры максимумов ДСК пиков (°С)		Суммарный экзотермический эффект (Дж/г)
	Береза	365,8	
Лиственница	494,6		16 367
Осина	375,4	481,2	13 737
Сосна	385,7	515,4	13 285
Липа	325,2	478,0	18 532

Самым высоким суммарным экзотермическим эффектом характеризуется липа, что свидетельствует о высокой пожарной опасности данной породы древесины. Значительно ниже тепловой эффект у таких пород древесины, как береза, сосна и осина.

Таким образом, наибольшей горючестью и, соответственно, наибольшей пожарной опасностью по данным термического анализа, являются такие породы древесины как береза и липа. Безусловно, горючесть пород древесины во многом определяется ее плотностью и влажностью. Поскольку тер-

мический анализ образцов древесины осуществлялся после их кондиционирования в одних и тех же условиях, в одно и то же время, то наибольшее влияние оказывает плотность.

Наименьшими значениями плотности ($320 \div 560 \text{ кг/м}^3$) характеризуется липа, что коррелирует с результатами термического анализа. Чем меньше плотность и, соответственно, больше воздуха содержится в порах древесины, тем древесина быстрее

возгорается и интенсивнее горит, так как интенсивность горения зависит от содержания воздуха. Наибольшей плотностью ($950 \div 1020 \text{ кг/м}^3$) характеризуется лиственница, что коррелирует с наименьшей горючестью данной породы древесины, подтверждаемой наименьшей потерей массы.

Результаты определения температур воспламенения по началу потери массы на ТГ кривой и температуры самовоспламенения по максимуму ДТГ-пика или 50 % потери массы, приведены в табл. 4.

Таблица 4
Показатели пожарной опасности древесины разных пород

Вид древесины	Температура воспламенения (°С)	Температура самовоспламенения, (°С)
Береза	290	336
Лиственница	296	340
Осина	294	338
Сосна	304	339
Липа	284	297

Анализ результатов термического анализа свидетельствует о том, что наименьшими температурами воспламенения и самовоспламенения и, соответственно, наибольшей пожарной опасностью характеризуется липа, а наибольшими температурами воспламенения и самовоспламенения – сосна. Низкие значения температур воспламенения и самовоспламенения у липы можно объяснить ее меньшей плотностью (большей пористостью).

Выводы

В результате исследований определены закономерности

термоокислительной деструкции древесины разных пород, а также показатели их пожарной опасности. Результаты исследований показали, что наибольшей пожарной опасностью среди исследуемых пород древесины характеризуется липа (обладает наименьшими значениями температур воспламенения и самовоспламенения и наибольшей теплотой сгорания). Объяснением этому может служить низкая плотность и высокая пористость данной породы древесины.

Литература

1. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства: монография. М., 2010. 262 с.
2. Сивенков А. Б. Влияние физико-химических характеристик древесины на ее пожарную опасность и эффективность огнезащиты: дис. д-ра физ.-мат. наук: 02.00.06. М., 2015. 289 с.
3. Чубинский А. Н., Тамби А. А., Варанкина Г. С. и др. Физические методы испытаний древесины. СПб., 2015. 125 с.
4. Беззапонная О. В. Оценка температуры воздействия на древесину в условиях пожара методами термического анализа // Техносферная безопасность. 2020. № 3 (28). С. 70–80.
5. Халимов Е. В., Беззапонная О. В., Зыков П. И. Исследование пиролиза берёзовой древесины горельников методом синхронного термического анализа и масс-спектрометрии // Техносферная безопасность. 2017.

№ 3 (16). С. 26–35.

Reference

1. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. Gorenje drevesiny i ee pozharoopasnye svojstva: monografiya. M., 2010. 262 p.
2. Sivenkov A. B. Vliyanie fiziko-himicheskikh harakteristik drevesiny na ee pozharnuyu opasnost' i effektivnost' ognezashchity: dis. d-ra fiz.-mat. nauk: 02.00.06. M., 2015. 289 p.
3. SHubinskij A. N., Tambi A. A., Varankina G. S. et al. Fizicheskie metody ispytaniy drevesiny. SPb., 2015. 125 p.
4. Bezzaponnaya O. V. Ocenka temperatury vozdejstviya na drevesinu v usloviyah pozhara metodami termicheskogo analiza // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2020. № 3 (28). P. 70–80.
5. Halimov E. V., Bezzaponnaya O. V., Zykov P. I. Issledovanie piroliza beryozovoj drevesiny gorel'nikov metodom sinhronnogo termicheskogo analiza i mass-spektrometrii // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2017. № 3 (16). P. 26–35.