

7. Взрывное дело. Сборник 68/25. Борьба с ядовитыми газами при взрывных работах и новые методы испытаний промышленных ВВ / М.: "Недра", 1970. – С. 8-23.
8. Физика взрыва / Под. Ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, переработанное. – В 2т. Т.1. / М.: «ФИЗМАТЛИТ», 2002. – С. 123-131.
9. Белов Г.В. «REAL Программный комплекс для моделирования равновесных состояний термодинамических систем при повышенных значениях температуры и давления» // Москва 1983-2007 - 23 с.
10. A.I. Sumin, V.N. Gamezo, B.N. Kondrikov, R.V. Raikova. Shock and detonation general kinetics and thermodynamics in reactive systems computer package. Trans. Of the 11-th (Int.) Detonation Symp., Snowmass, Colorado, USA. August 31-September 4, 1998, Bookcomp, Ampersand, 2000.
11. Анников В.Э., Акинин Н.И., Михеев Д.И., Ротенберг Е.В. Оценка экологической безопасности при утилизации артиллерийских боеприпасов // Взрывное дело. -№111/68. - 2014. - с. 275-282.
12. Акинин Н. И., Анников В. Э., Михеев Д. И., Трунин В. В. Разработка пороховых водно-гелевых составов пониженной экотоксичности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2018. - № 2. - С. 81–88.
13. Доманов В.П., Варнаков Ю.В., Батраков Д.Н., Плешаков К.А., Варнаков К.Ю. Исследования газовой вредности взрывчатых веществ, предназначенных для формирования скважинных зарядов // Вестник Научного центра 2012. - №2. – С.51-56.
14. Постановление Госгортехнадзора РФ "Об утверждении "Правил безопасности в угольных шахтах" от 05.06.2003 N 50 (ред. от 20.12.2010) // Российская газета

УДК 614.841

**ИЗУЧЕНИЕ ОПАСНОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ДРЕВЕСИНЫ  
ХВОЙНЫХ ПОРОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ И  
СРЕДНЕМАСШТАБНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ**

*Литвиненко А.Г., Аносова Е.Б., Шушпанов А.Н.*

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

Аннотация: С использованием лабораторных и среднемасштабных методов исследования установлен ряд характеристик пожароопасности древесины хвойной породы. Полученные данные могут быть использованы для углубленной оценки пожарного риска в индивидуальных строениях.

Ключевые слова: пожарная опасность, пожарный риск, развитие пожара в помещении.

**STUDING THE DANGER OF THERMAL DESTRUCTION OF CONIFEROUS  
WOOD USING LABORATORY AND MEDIUM-SCALE RESEARCH METHODS**

*Litvinenko A.G., Anosova E.B., Shoushpanov A.N.*

D. I. Mendeleev Russian University of chemical technology (MUCTR)

Abstract: Using laboratory and medium-scale research methods, a number of fire hazard characteristics of softwood were established. The obtained data can be used for an in-depth assessment of fire risk in individual buildings.

Keywords: fire hazard, fire risk, development of fire in the room.

Несмотря на сокращение общего количества пожаров в жилом секторе (на 8 тысяч по сравнению с 2014 годом) в настоящее время, в случае их возникновения наибольшее

количество погибших и пострадавших приходится на проживающих в индивидуальных малоэтажных зданиях. В 2018 году этот показатель составил 5552 погибших [1].

Для предотвращения гибели людей при пожарах наибольший интерес представляют исследования начальной стадии пожара, в течение которой происходит основное воздействие опасных факторов пожара (ОФП) на пострадавших.

Параметры, характеризующие условия развития пожара в помещении (температура, давление, состав газовой среды, массовые и тепловые потоки), в условиях локальных пожаров в объеме очага пожара крайне неравномерны. Для их описания наилучшим образом подходит зонная модель распространения ОФП (рис. 1).

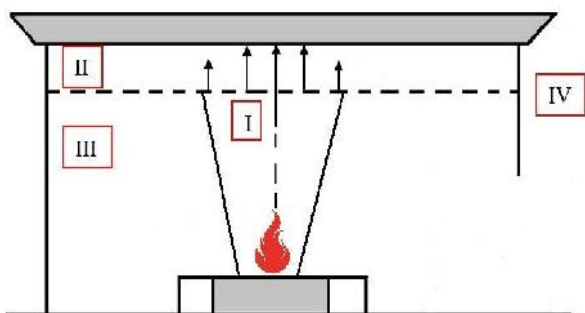


Рис. 1 Схема зонной модели пожара

I – зона конвективной струи (конвективная колонка); II - припотолочная область; III – зона холодного воздуха; IV – наружная атмосфера.

Начальная стадия пожара, при которой температура в помещении характеризуется сильной неоднородностью, очень важна для оценки характера последующего развития пожара, разработки мероприятий по обеспечению безопасной эвакуации людей при пожаре, обнаружению и тушению пожара [2].

Целью настоящей работы была оценка характеристик, влияющих на пожарную опасность древесины хвойных пород как наиболее распространенного в индивидуальном строительстве материала с использованием методов лабораторных исследований и среднемасштабных пожарных испытаний.

Максимально допустимым значением температуры, при превышении которой материал может повлиять на распространение пожара и причинить вред здоровью является температура начала термической деструкции (ведь именно ее мы потом определяем по ДТА). Подобное предположение было высказано Драйзделом [3]. Он приходит к выводу, что «именно данная особенность, а не склонность к образованию дыма и токсичных газов, должна рассматриваться в качестве основной меры опасности, и способы по ее определению должны быть немедленно разработаны».

Для определения температуры начала пиролиза исследуемых образцов были проведены лабораторные испытания микрообразцов массой (15-30) мг древесины хвойных пород с использованием дериватографа Паулик-Паулик-Эрдей с микропроцессором. Образцы нагревались со скоростью 1, 2, 5, 10, 20 °С/мин в керамических тиглях со свободным доступом воздуха. Такой выбор скоростей нагревания образцов связан как с различными процессами, происходящими в древесине при нагревании: тление, термоокислительное разложение, коксование, так и с различными скоростями распространения пожара в момент загорания, распространения и интенсивного горения. Типичная дериватограмма приведена на рис.2.

### Характеристики пожарной опасности образца ели

Показатели	Скорость нагрева, °С/мин				
	1	2	5	10	20
Температура начала пиролиза, °С	266	280	282	288	291
Температуры начала интенсивного уменьшения массы, °С	215	241	246	262	224
Значение энтальпии термоокислительного разложения, кДж/кг	1645	1915	2373	3810	7254

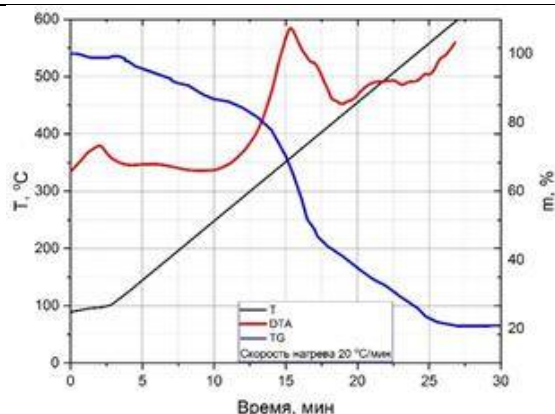


Рис. 2 Дериватограмма образца ели (скорость нагрева 20 °С/мин)

По результатам дериватографических исследований были получены следующие характеристики, влияющие на пожарную опасность образца: температура начала экзотермического эффекта (пиролиза), температуры начала интенсивного уменьшения массы, значение энтальпии термоокислительного разложения. Результаты приведены в таблице 1 на рисунках 3, 4, 5.



Рис. 3 Зависимость начала экзоэффекта от скорости нагрева

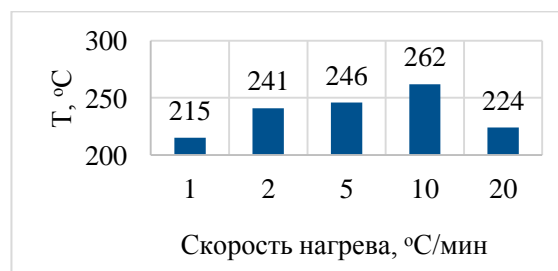


Рис. 4 Зависимость начала интенсивного уменьшения массы от скорости нагрева



Рис. 5 Зависимость значения энтальпии термоокислительного разложения от скорости нагрева

Таким образом, исходя из полученных температур начала пиролиза и значений энтальпии термоокислительного разложения, можно сделать вывод, что пожарную опасность образцов древесины в наибольшей степени характеризуют результаты испытаний, полученные при высоких (10 - 20) °С/мин скоростях нагрева. Значения температуры начала интенсивного термического уменьшения массы, полученные при низких скоростях нагревания, могут характеризовать максимально допустимую температуру в помещениях,

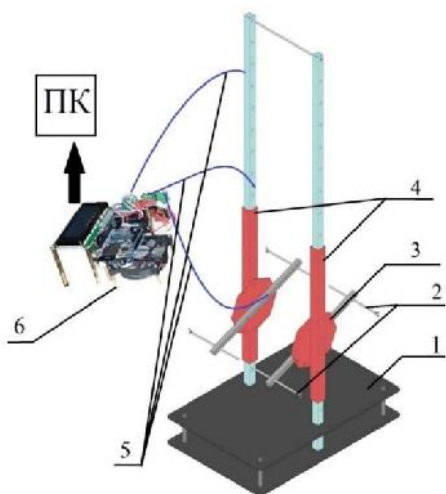
где используются исследованные образцы. Она составляет приблизительно 80% от температуры начала интенсивного термического уменьшения массы, полученного при нагреве со скоростью  $(1 - 2) \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ .

Для исследования индивидуальных свойств пожарной нагрузки в условиях, близких к реальному пожару, была поставлена цель сконструировать установку, которая может непрерывно фиксировать изменение температуры в заданных точках пространства, что позволит получить данные, характеризующие распространение (температуры) в помещении.

Для проведения испытаний, в первую очередь, было необходимо подобрать аппаратно-программную систему, посредством которой прибор мог бы корректно собирать, обрабатывать и записывать данные. С учетом этого была выбрана платформа Arduino, непрерывно фиксирующая изменение температуры от трех термопар в течение эксперимента.

Преимуществами использования мультиканального микропроцессора Arduino Mega являются его миниатюрность, возможность оперативного перевода измеренных характеристик в числовые значения, а также мобильность и универсальность.

Также необходима была установка, позволяющая проводить подобные испытания. В ее конструкцию должны быть заложены определенные параметры: крепление для испытываемых образцов, возможность их пространственной ориентации, а также изменение высоты, на которой проводятся испытания. С учетом вышеизложенного было создано такое оборудование, его вид приведен на рисунке 6.



1 – основание; 2 – держатели образца; 3 – поворотный механизм; 4 – подъемники; 5 – термопары №1, №2, №3; 6 – Arduino Mega 2560.

Рис.6 Общий вид установки

Испытания проводятся в камере объемом  $4 \text{ м}^3$ , что по условиям газообмена аналогично жилым помещениям в деревянных одноэтажных домах сельской местности РФ.

По условиям эксперимента принимаем, что дверные и оконные проемы в течение опыта не вскрываются, вентиляционные отверстия отсутствуют. Для выяснения скорости распространения пожара по поверхностям помещения необходимо установить количество тепла, получаемого в течение первичной фазы пожара поверхностями помещения.

Для определения тепла, которое получают поверхности, необходимы следующие параметры: температура окружающего газа, температура поверхности, которую омывает газ, коэффициент теплоотдачи прикосновением, коэффициент лучистой теплоотдачи, приведенная степень черноты системы, коэффициент излучения черного тела.

Измеряя температуру конвективной колонки горючего материала в припотолочном слое и температуру потолка с использованием термопар, регистрируя ее в течение

эксперимента, можно получить значение тепла, поглощаемое конструкциями помещения. Данная величина является важной составляющей зонной модели распространения пожара в помещении.

$$q_0 = \left\{ \alpha_K + \varepsilon C_0 \frac{\left[ \left( \frac{t_{\Gamma}}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_{Cm}}{100} \right)^4 \right]}{t_{\Gamma} - t_{Cm}} \right\} (t_{\Gamma} - t_{cm})$$

где  $\varepsilon$  – приведенная степень черноты системы (справочная величина);  $C_0$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела, равный  $5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ,  $\alpha_K$  – коэффициент конвективной лучистой теплопередачи,  $\alpha_L$  – коэффициент лучистой теплопередачи;  $t_2$  – температура припотолочного слоя газа и  $t_{cm}$  – температура тепловоспринимающей стенки.

Для эксперимента использовались образцы сосны габаритами:  $350 \times 45 \times 40 \text{ мм}$ , масса: приблизительно  $350 \text{ г}$ ; расстояние термопар от очага горения:  $200 \text{ мм}$  (термопара №1),  $500 \text{ мм}$  (термопара №2),  $900 \text{ мм}$  (термопара №3); термопара №3, располагающаяся у стенки регистрирует изменение температуры стенки в течение эксперимента; расстояние от очага горения до образца:  $150 \text{ мм}$ ; время моделирования:  $10 \text{ мин}$ .

Эти условия приблизительно соответствуют начальной фазе пожара.

Таблица 2.

### Результаты эксперимента

№ опыта	Термопара №1		Термопара №2		Термопара №3	
	Т стенки, °С	Т газа, °С	Т стенки, °С	Т газа, °С	Т стенки, °С	Т газа, °С
1	24	140,61	24	50	24	40
qk, Вт/м <sup>2</sup>	11095		2470		1710	
2	24	118	24	64	24	48
qk, Вт/м <sup>2</sup>	8939		3800		2280	
3	24	145,6	24	85,7	24	47
qk, Вт/м <sup>2</sup>	11572		5861		2185	

Как видно из результатов, были получены значения теплового потока, поглощаемого конструкциями помещения на разном расстоянии от очага горения. Также явно видно удовлетворительную сходимость значений, полученных в ходе эксперимента.

Предложенная авторами статьи установка для исследования начальной стадии пожара позволит определить повышение температуры на разных участках конвекционной колонки и тепловое излучение при горении образца в зависимости от времени, и изучить, таким образом опасность образца во время пожара. С использованием этих сведений можно точнее оценить уровень риска гибели людей в деревянных строениях.

### Литература

1. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: Статистический сборник. Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2019, - 125с с.: ил.42.
2. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие / Ю.А. Кошмаров, С.В. Пузач, В.В. Андреев и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 126с.
3. Drysdale DD (1986) Fundamentals of the fire behaviour of cellular polymers. In: Buist JM, Grayson SJ, Woolley WD (eds) Fire and cell polymer Springer Netherlands, Dor-drecht, pp61–75