

*Розроблена математична модель швидкості вигорання деревини. За отриманим аналітичним рівнянням розрахована швидкість горіння вогнестійкого матеріалу за наявності значення показника пригнічення. Наведено результати досліджень швидкості вигорання деревини, в тому числі модифікованої антипіренами і встановлено вплив модифікації на зменшення швидкості і глибини обуглювання, а відповідно і на зменшення робочого перерізу дерев'яної конструкції при високотемпературному впливі*

*Ключові слова: просочення, деревина, антипірени, антисептики, ефективність модифікації, вигорання, вогнестійкість деревини, обуглювання*

*Разработана математическая модель скорости выгорания древесины. По полученному аналитическому уравнению рассчитаны скорости горения огнестойкого материала при соответствующем значении показателя замедления. Приведены результаты исследований скорости выгорания древесины, в том числе модифицированной антипиринами, и установлено влияние модификации на уменьшение скорости и глубины обугливания, а соответственно и на уменьшение рабочего сечения деревянной конструкции при высокотемпературном влиянии*

*Ключевые слова: пропитка, древесина, антипилены, антисептики, эффективность модификации, выгорание, огнестойкость древесины, обугливания*

# ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Ю. В. Цапко**

Кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
Лаборатория криминалистических  
видов исследований

Киевский научно-исследовательский институт  
судебных экспертиз МЮ Украины  
ул. Смоленская, 6, г. Киев, Украина, 03680  
E-mail: Alekslion77777@bigmir.net

## 1. Введение

Капитальное строительство и реконструкция существующих объектов гражданского, промышленного и специального назначения связаны с использованием древесины, которая чувствительна к воздействию высокой температуры, т.е. способностью сохранять функциональные свойства в условиях эксплуатации. С учетом этих проблем приняты нормативные документы, которые требуют при проектировании конструкции из древесины учитывать их стойкость против термического разрушения, а также проводить защитную обработку строительных материалов специальными средствами. Сущность защиты антипиринами и антисептиками состоит в торможении процессов термического разложения целлюлозы, снижении константы скорости реакций и энергии активации [1, 2].

## 2. Литературный обзор

Для комплексной защиты древесины от возгорания и биологического разрушения предложено небольшое количество препаратов, в частности смесь сульфата аммония, диаммонийфосфат и фтористого натрия (МС), или ортоборату натрия и борной кислоты (ББ) и смесь карбоната натрия и борной кислоты (БС). На сегодняшний день появились эффективные пропиточные составы для древесины, в частности композиция

из антипирина (фосфаты и сульфат аммония) и антисептика полимерного происхождения (полигексаметиленгуанидинфосфат) - ДСА-1 и ДСА-2 [3]. В случае применения ДСА на поверхности древесины образуется полимерная пленка, препятствующая выходу антипирина из древесины на поверхность и предотвращает свободный доступ кислорода воздуха, изменяя механизм пиролиза целлюлозы и замедляя окислительные процессы [3].

## 3. Цель и задачи исследования

На основе комплексной защиты древесины от возгорания и биологического разрушения провести исследование скорости выгорания древесины в случае модифицирования ее смесями диаммонийфосфат, сульфата аммония и полигексаметиленгуанидинфосфата.

## 4. Основная часть (определение скорости выгорания древесины и влияние поверхностной модификации на процесс ее замедления)

Распространение пламени при горении материалов определяет интенсивность и динамику развития пожара и зависит от эффективности защиты и скорости выгорания строительных конструкций в процессе пламенного горения.

Для определения характеристик тепловыделения материалов при горении используется фундаментальное уравнение, связывающее скорость тепловыделения при горении материала  $Q$ , со скоростью выгорания  $m$ ,  $кг/(м^2 \cdot с)$  и низкой теплотой сгорания  $Q_n$ ,  $кДж/кг$  вида [4]:

$$Q = \eta m Q_n S, \tag{1}$$

где  $\eta$  - коэффициент полноты сгорания летучих продуктов разложения вещества в пламени (0,85);

$S$  - площадь поверхности образца, находящегося под действием теплового воздействия,  $м^2$ .

При построении математической модели скорости выгорания материала принимаем, что изменение во времени удельной массы образца пропорционально разности между начальной и текущей удельной массой и интенсивностью выгорания:

$$\frac{dm}{d\tau} = \alpha(m_0 - m) + \omega, \tag{2}$$

где  $\tau$  - время с момента зажигания,  $с$ ;  $\alpha$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от вида горючего материала,  $с^{-1}$ ;

$m_0$  - начальная скорость выгорания материала,  $кг/(м^2 \cdot с)$ ;

$w = w(\tau) = \omega_0 \cdot e^{-\gamma\tau}$  - функция, характеризующая интенсивность изменения удельной массы образца в пламени,  $кг/(м^2 \cdot с^2)$ ;

$\omega_0$  - интенсивность сгорания материала в начальный момент времени,  $кг/(м^2 \cdot с^2)$ ;

$\gamma$  - показатель интенсивности замедления реакций горения за счет действия защитных веществ,  $с^{-1}$ .

После интегрирования (2) получаем следующее выражение для расчета скорости выгорания огнестойких материалов:

$$m = m_0 + \frac{\omega_0}{\alpha - \gamma} \cdot (e^{-\gamma\tau} - e^{-\alpha\tau}). \tag{3}$$

Если образец не обработан защитными веществами, то математически это означает, что  $\alpha \gg \gamma$  или  $\gamma \rightarrow 0$ , тогда уравнение (3) принимает следующий вид:

$$m_{\gamma \rightarrow 0} = m_0 + \frac{\omega_0}{\alpha} (1 - e^{-\alpha\tau}). \tag{4}$$

Это означает, что сразу после зажигания образца начинается период стационарного развития пожара до полного сгорания.

В случае идеальной защиты  $\alpha \ll \gamma$  или при  $\alpha \rightarrow 0$  из уравнения (3) получаем:

$$m_{\alpha \rightarrow 0} = m_0 - \frac{\omega_0}{\gamma} (e^{-\gamma\tau} - 1), \tag{5}$$

откуда следует, что с момента начала воздействия на образец теплового источника начинается стадия прекращения горения.

Наконец, если интенсивность развития пламенного горения и скорость его подавления примерно одинаковые  $\gamma \approx \alpha$ , то:

$$m_{\alpha \rightarrow \gamma} = m_0 + \omega_0 \cdot \tau \cdot e^{-\gamma\tau}, \tag{6}$$

То есть, при наличии защиты, соответствующей интенсивности развития пожара, горение повышается, а затем проявляется влияние действия защитных средств и пламя подавляется.

Проверка адекватности полученных теоретических результатов натурным условиям была проведена путем определения тесноты связи между расчетными и экспериментально установленными параметрами горения древесины.

Для определения значений этих параметров проведены экспериментальные исследования, где в качестве объекта исследований использовали древесину (ГОСТ 2140 [5]) и древесину пропитанную смесью фосфата и сульфата аммония и антисептиком полигексаметиленфосфат: поверхностным одно- и двукратным нанесением и глубокой пропиткой) [6, 7]. Сначала были проведены испытания необработанных образцов древесины. После температурного воздействия на необработанные образцы, происходило воспламенение исследуемых материалов. Затем были проведены испытания образцов древесины, которые были обработаны антипиренами и антисептиком. Для проведения исследования использовали установку по определению группы горючести материалов по ГОСТ 12.1.044 [8], которая дополнительно была оснащена устройством для регистрации изменения массы образца в ходе испытаний.

На рис. 1 представлены сопоставления результатов рассчитанной скорости выгорания образцов по формулам (4-6) и динамики ее изменения, которую определяли экспериментально и рассчитывали по уравнению:

$$m_i = v_e = \frac{\Delta m}{\tau \cdot S}, \tag{7}$$

где  $\Delta m$  - потеря массы образца в процессе испытаний,  $г$ ;  
 $\tau$  - время испытания,  $с$   $S$  - площадь поверхности образца,  $м^2$ .

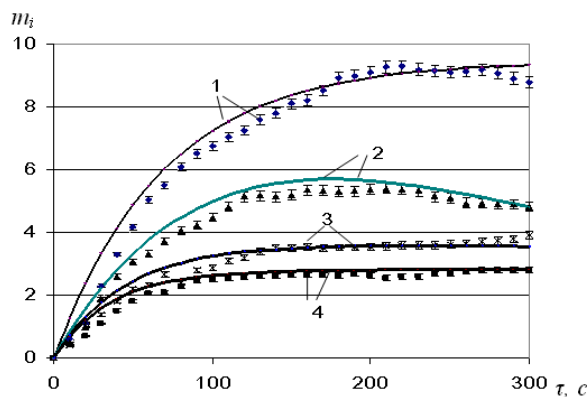


Рис. 1. Зависимость скорости выгорания образца древесины  $m_i$  ( $г/(м^2 \cdot с)$ ) во времени  $\tau$  ( $с$ ) от количества антипирена: 1 - необработанная, 2 - 27  $кг/м^3$ , 3 - 45  $кг/м^3$ , 4 - 60  $кг/м^3$

Полученные зависимости показывают, что скорость выгорания необработанного образца древесины ( $\gamma = 0$ ) значительно повышается в начальный период воздействия теплового потока, а затем, в связи с обугливанием поверхности, несколько замедляется. Результаты обра-

ботки экспериментальных данных горения древесины приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты обработки экспериментальных данных по горению образцов древесины

Образец древесины сосны модифицированный	Значение параметра			
	$\omega_0$ , г/(м <sup>2</sup> ·с <sup>2</sup> )	$\alpha \cdot 10^3$ , с <sup>-1</sup>	$\gamma \cdot 10^3$ , с <sup>-1</sup>	$m$ , г/(м <sup>2</sup> ·с)
необработанный	0,13	15,20	0,03	8,0
одноразовая поверхностная обработка, с привесом 27 кг/м <sup>3</sup> антипирина	0,09	5,68	5,68	4,78
двукратная поверхностная обработка, с привесом 45 кг/м <sup>3</sup> антипирина	0,08	0,14	22,0	3,84
глубокая пропитка, с расходом 60 кг/м <sup>3</sup> антипирина	0,07	0,01	27,8	2,8

Для необработанных образцов при таких значениях достигается максимальная скорость выгорания, которая составляет около 8,1 г/(м<sup>2</sup>·с). Для обработанных образцов древесины, с поглощением антипирина (27 кг/м<sup>3</sup>), все параметры, которые влияют на скорость выгорания имеют меньшие значения, но показатели скорости развития и подавления горения  $\alpha$  и  $\gamma$  изменяются.

Показатели скорости развития и прекращения горения для огнестойкой древесины, с поглощением антипирина (45 и 60 кг/м<sup>3</sup>), существенно отличаются от предыдущих, а именно, наименьший показатель прекращения скорости горения  $\gamma = 27,8 \text{ с}^{-1}$  при показателе развития горения  $\alpha \approx 0, \text{ с}^{-1}$ . При таком количестве огнезащитного средства достигается минимальная скорость выгорания 2,8 г/(м<sup>2</sup>·с). Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что фактически, при горении образцов в условиях проведенных испытаний, динамика скорости выгорания соответствуют одному из трех условий, которые рассмотрены выше.

### 5. Апробация результатов исследований

Согласно п. 1.2 СНиП II - 25 - 80 "Деревянные конструкции" [9] следует, что при проектировании деревянных конструкций необходимо предусматривать защиту их от увлажнения, биоповреждения, от коррозии и от возгорания при пожаре.

Так, в общем случае, для расчета предела огнестойкости деревянных конструкций необходимо решение двух задач: теплотехнической и прочностной.

Решение теплотехнической задачи огнестойкости деревянных конструкций заключается: в определении изменения рабочего сечения деревянной конструкции после возгорания древесины при пожаре, за счет процесса ее обугливания.

Решение прочностной задачи огнестойкости, применительно к деревянным конструкциям, заключается:

а) в определении изменения соответствующих напряжений в расчетных сечениях конструкций от нормативных нагрузок в зависимости от изменения рабочих связей деревянной конструкции за счет обугливания древесины после ее воспламенения при пожаре;

б) в проверке условий прочности деревянной конструкции на воздействие соответствующих нормативных нагрузок, с учетом изменения напряжений от этих нормативных нагрузок в зависимости от времени горения древесины до потери конструкцией несущей способности.

По экспериментальным данным, средняя скорость обугливания древесины в конструкциях такова: массивные элементы сечением не менее 150x150 мм - 0,6 мм/мин., дощатая обшивка, перегородки из досок толщиной 15-20 мм - 0,8 ÷ 1,0 мм/мин [10]. Эти данные относятся к немодифицированной древесине.

Что касается защищенной древесины, то значение скорости обугливания неизвестны и зависят от природы модификаторов и их свойств.

Прогнозирование средней скорости обугливания для древесины предложено проводить по зависимости [11]:

$$V_o = \frac{m}{\rho_w}, \tag{8}$$

где  $M$  - массовая скорость выгорания древесины (скорость потери массы), кг/(м<sup>2</sup>·с);

$\rho_w$  - плотность древесины в сухом состоянии (влажность 10 ÷ 12%), кг/м<sup>3</sup>.

Определенная по (8) скорость обугливания древесины составляет для защищенной 0,000336 м/мин. и соответственно для необработанной - 0,00096 м/мин.

Как пример, рассмотрим деревянную стойку из цельной древесины. Материал стойки - сосна первого сорта. Сечение  $b \times h = 0,22 \times 0,20$  м. Влажность - 10 ÷ 12%, нагрузка на стойку  $N_n = 740$  кН.

Варианты огнезащиты: а) без огнезащиты; б) огнезащита пропиткой.

Расчетное сопротивление древесины стойки на сжатие согласно СНиП II-25-80 для древесины I сорта составляет  $R_c = 25$  МПа.

Задаем последовательные моменты времени горения деревянной стойки при пожаре, определяем рабочее сечение стойки ( $F_c(\tau)$ ) и напряжение сжатия ( $\sigma_c(\tau)$ ) (рис. 2).

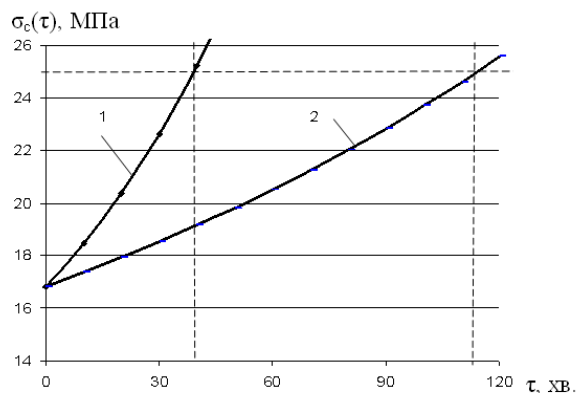


Рис. 2. Зависимость напряжения сжатия ( $\sigma_c(\tau)$ ) от времени горения  $\tau$  деревянной стойки: 1 - необработанная древесина, 2 - обработанная

Определяем время  $\tau$  от начала возгорания деревянной стойки при пожаре к потере ею несущей способно-

сти по [9], согласно которой  $\sigma_p(\tau) \geq R_c = 25$  МПа. Это условие выполняется для необработанной древесины на 40 мин, для обработанной - на 120 мин.

## 6. Выводы

Модификация древесины приводит к снижению скорости обугливания примерно в 2,8 раза и изменению структуры и свойств контактной зоны древесины, повышающих ее способность противо-

стоять высокотемпературному воздействию. Установлено, что эта зона представляет собой слой древесины, характеризуемый сопротивляемостью к воздействию внешних источников энергии (высокотемпературного пламени), что свидетельствует о защитном характере модификаторов на поверхности древесины. Устойчивость модифицированной древесины, оцениваемая по изменению прочности при сжатии, в среднем в 3 раза выше по сравнению с необработанной, при выгорании деревянной конструкции.

## Литература

1. Тычино, Н. А. Особенности практического применения огне- и биозащитных средств для пропитки древесины [Текст] / Н. А. Тычино // Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Вып. 6. – М.: ВНИИПО, 2002. – С. 38–43. – 3000 пр. – ISSN 0869-7493.
2. Леонович, А. А. Химический подход к проблеме снижения пожароопасности древесных материалов [Текст] / А. А. Леонович // Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Вып. 3. – М.: ВНИИПО, 1996. – С. 10–14. – 2000 пр. – ISSN 0869-7493.
3. Бут, В. П. Новый подход к огнебиозащите изделий из целлюлозы [Текст] / В. П. Бут, В. М. Жартовский и др. // Пожаровзрывобезопасность. – М.: ВНИИПО, 2004. – Вып. 5. – С. 31–32. – 3000 пр. – ISSN 0869-7493.
4. Сивенков, А. Б. Огнезащитные покрытия на основе модифицированных полисахаридов. Часть 3. Характеристики тепловыделения при пламенном горении и теплофизические свойства [Текст] / А. Б. Сивенков, Б. Б. Серков // Пожаровзрывоопасность. – М.: ВНИИПО.- 2002. - Вып. 3.- С. 13-19. – 3000 пр. – ISSN 0869-7493.
5. ГОСТ 2140-81 Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения [Дата введения 1983-01-01]. - М.: Издательство стандартов, 1981. - 17 с.
6. ГОСТ 20022.6-86 Пропитка способом прогрев-холодная ванна. Взамен ГОСТ 20022.6-76 - [Введен 01.07.87].-М.: Изд-во стандартов, 1986. – 7 с.
7. ГОСТ 20022.9-76\* Древесина, консервирование. Капиллярная пропитка способом нанесения на поверхность. Взамен ГОСТ 16416-70 -[Введен 01.01.78]. -М.: Изд-во стандартов, 1977. – 6 с.
8. ГОСТ 12.1.044–1989 Межгосударственный стандарт. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения [Дата введения 1991–01–01]. - М.: Издательство стандартов, 1990. – 143 с.
9. СНиП II-25-80 Деревянные конструкции. – М. 1996.
10. Пракшин, Ю. К. Методика осмотра места пожара [Текст] / Ю. К. Пракшин, С. И. Зернов. – К.: РИО МВД УССР, 1988. – 168 с. ил.
11. Шналь Тарас. Огнестойкость деревянных конструкций [Текст] / Тарас Шналь. – Львов. Издательство “Львовская политехника”, 2006.-220 с.