

*Визначено вогнестійкі властивості деревини, яка захищена покриттям на основі геоцементу. Для цього були досліджені горючість, димоутворення і поширення полум'я по поверхні. В результаті досліджень встановлено, що деревина, захищена покриттям на основі геоцементу, відноситься до важкогорючих матеріалів з помірними димоутвореннями і низьким індексом поширення полум'я по поверхні*

*Ключові слова: спучуюче покриття, вогнестійкість, геоцемент, деревина, горючість, димоутворення, індекс розповсюдження полум'я*

*Определены огнестойкие свойства древесины, которая защищена покрытием на основе геоцемента. Для этого были исследованы горючесть, дымообразование и распространение пламени по поверхности. В результате исследований установлено, что древесина, защищенная покрытием на основе геоцементу, относится к трудногорючим материалам с умеренным дымообразованием и низким индексом распространения пламени по поверхности*

*Ключевые слова: вспучивающееся покрытие, огнестойкость, геоцемент, древесина, горючесть, дымообразование, индекс распространения пламени*

УДК 691.075.5:549.385

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36843

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОГНЕСТОЙКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ, ЗАЩИЩЕННОЙ ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ ГЕОЦЕМЕНТА

А. В. Кравченко

Аспирант\*

E-mail: krav.anastasiya@gmail.com

С. Г. Гузий

Кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник\*

E-mail: sguziy@ukr.net

\*Научно-исследовательский институт вяжущих  
веществ и материалов им. В. Д. ГлуховскогоКиевский национальный университет  
строительства и архитектуры

пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, Украина, 03680

## 1. Введение

В современном строительстве, благодаря своим механическим и эксплуатационным свойствам, довольно широко используется древесина. Однако ее использование ограничено рядом недостатков, опаснейшие из которых – горение и дымообразование. В связи с этим деревянные конструкции нуждаются в защите от внешних агрессивных факторов – теплового излучения и пламени [1]. Перспективными огнезащитными материалами для изделий из древесины являются вспучивающиеся покрытия. Известны вспучивающиеся покрытия на органической и неорганической основах [2].

Но при возникновении пожара недостатком вспучивающихся покрытий на органической основе является высокое дымообразование и выделение токсичных веществ, поэтому их использование небезопасно [3].

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

На данный момент существуют вспучивающиеся огнезащитные покрытия на неорганической основе как в Украине, так и за рубежом. Исследования [4] установили определенный состав на основе жидкого стекла, при вспучивании которого образуется мелкопористая структура по всему объему, что и определяет огнезащитную эффективность покрытия, а также высокую адгезионную прочность.

Работой [5] определено влияние теплового потока и толщины покрытия на огнестойкие свойства предлагаемых вспучивающихся покрытий.

В работе [6] представлены результаты термического анализа образцов покрытия с добавлением аминосмолы, которые динамически нагревались от 298 до 823К при воздействии кислорода.

В работе [7, 8] установлена возможность использования щелочных алюмосиликатных композиций в качестве связующих веществ для получения эффективных экологически безопасных теплоизоляционных материалов специального назначения.

Но в выше перечисленных работах испытания огнезащитных материалов проводились только на металле, что в силу особенностей строения древесины не может гарантировать сопоставления результатов. Поэтому для деревянных конструкций необходимы новые и более корректные исследования с усовершенствованным покрытием. Также не были изучены и испытаны все основные огнестойкие свойства предложенных огнезащитных материалов, что и характеризует в полной мере огнезащитную эффективность строительных материалов.

В НИИВМ им. В. Д. Глуховского разработаны вспучивающиеся покрытия на основе геоцементу для огнезащиты древесины, некоторые свойства которых уже исследованы и опубликованы. В работе [9] определен оптимальный состав по основным структурообразующим оксидам и реологические свойства, а в работах [10, 11] проведено исследование фазовых переходов в диапазоне температур 20–1050 °С и влияния добавок

на способность к вспучиванию данного покрытия на основе геоцемента.

### 3. Цель и задачи исследования

Целью данной работы является определение основных огнестойких свойств древесины, защищенной покрытием на основе геоцемента: горючесть, дымообразование и индекс распространения пламени по поверхности.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести испытания огнестойких свойств незащищенной древесины и защищенной покрытием на основе геоцемента.
2. Провести расчет и анализ полученных результатов испытаний, сравнить их с нормативными.
3. Определить огнезащитную эффективность покрытия на основе геоцемента для дальнейшего использования в строительстве.

### 4. Методика и материалы исследований огнестойких свойств

Для испытаний использовалось двухкомпонентное огнезащитное покрытие на основе геоцемента состава  $(1-2)\text{Na}_2\text{O} \cdot (0,7-1,0)\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (4,9-7)\text{SiO}_2 \times (20-30)\text{H}_2\text{O}$ . Для приготовления покрытия, состоящего из двух фаз: порошкообразный твердой и жидкой использовали метакаолин, трепел, известняк, молотый до удельной поверхности  $600-750 \text{ м}^2/\text{кг}$  (по Блейну), гидроксид алюминия, натриевое жидкое стекло с силикатным модулем  $M_0=3,2$ , плотностью  $\rho=1400 \text{ кг}/\text{м}^3$ , тринатрийфосфат, карбамид и гидроксид натрия. Огнезащитное покрытие готовили следующим образом: твердую фазу высыпали в жидкую и перемешивали в емкости миксером до однородной массы в течение 3 мин.

Огнезащитное покрытие в 2 слоя с общим расходом  $430 \text{ г}/\text{м}^2$  наносили с помощью кисти на образцы древесины сосны с размерами  $60 \times 30 \times 150 \text{ мм}$  и  $80 \times 25 \times 300 \text{ мм}$  для определения горючести, дымообразования и индекса распространения пламени по поверхности соответственно. Высыхание образцов происходило на воздухе при нормальных условиях на протяжении 14 дней.

Определение эффективности огнезащиты древесины данным покрытием проводили в соответствии с нормативными документами Украины.

Группа горючести определялась путем воздействия на образец пламени горелки с заданными параметрами. Во время эксперимента фиксировался максимальный прирост температуры газообразных продуктов горения ( $\Delta t$ ) и потеря массы ( $Dm$ ), которые далее рассчитывались по следующим уравнениям:

$$\Delta t = t_{\max} - t_0, \quad (1)$$

где  $t_0$ ,  $t_{\max}$  – начальная температура испытания ( $200 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и максимальная температура газообразных продуктов горения исследуемого материала,  $^\circ\text{C}$ ;

$$\Delta m = \frac{m_n - m_k}{m_n} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $m_n$ ,  $m_k$  – масса образца до испытания и после испытания, г.

Дымообразование определялось измерением оптической плотности дыма, образующегося при горении и тлении испытуемого материала, и рассчитывалось по следующему уравнению:

$$D_m = \frac{V}{L \cdot m} \cdot \ln \frac{T_0}{T_{\min}}, \quad (3)$$

где  $T_0$ ,  $T_{\min}$  – соответственно значения начального и конечного светопропускания, %;  $L$  – длина пути луча света в задымленной среде, м;  $m$  – масса образца, кг;  $V$  – объем камеры измерения,  $\text{м}^2$ .

Для определения индекса распространения пламени на поверхности древесины фиксировалось время от начала испытания до момента прохождения фронтом пламени нулевой отметки, время прохождения пламени  $i$ -го участка поверхности образца, расстояние, на которое распространилось пламя, максимальную температуру дымовых газов и время ее достижения. После проводились расчеты по уравнению:

$$I = \sqrt{\frac{q \cdot Q}{W} \cdot \frac{T_{\max} - T_0}{T_1 - T_0} \cdot \frac{\tau_{\max} - \tau_0}{\tau_0} \cdot \left[ 1 + \frac{60 \cdot l_r}{l} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau_i} \right]}, \quad (4)$$

где  $q$  – удельная теплота выгорания газа пропана ( $23630$ ),  $\text{кДж} \times \text{л}^{-1}$ ;  $Q$  – расход газа запальной горелки ( $0,003$ ),  $\text{л} \times \text{с}^{-1}$ ;  $W$  – мощность электрической радиационной панели,  $0,75 \text{ кВт}$ ;  $T_0$  – температура окружающей среды,  $^\circ\text{C}$ ;  $T_1$  – начальная температура дымовых газов,  $^\circ\text{C}$ ;  $T_{\max}$  – максимальная температура дымовых газов,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_0$  – время воспламенения образца, с;  $t_{\max}$  – время достижения максимальной температуры дымовых газов, с;  $t_i$  – время прохождения пламени в контрольных участках, с;  $l$  – длина образца, мм;  $l_r$  – длина поврежденная образца, мм.

### 5. Анализ полученных результатов исследований огнестойких свойств

Анализ экспериментальных и расчетных данных на определение горючести показывает, что при воздействии пламени горелки на незащищенную древесину произошло воспламенение и возгорание образца, что привело к высокому росту начальной температуры дымовых газов ( $T > 952 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и потери массы (больше 78 %). А для образца защищенного покрытием, температура газообразных продуктов горения составляла  $T \leq 185 \text{ }^\circ\text{C}$  и потеря массы – 4,4 % (рис. 1, табл. 1)

Коэффициент дымообразования в режиме горения для образцов защищенных покрытием древесины, при составил –  $84,9 \text{ м}^2/\text{кг}$ , а для чистой древесины –  $549,8 \text{ м}^2/\text{кг}$  а в режиме тления –  $256,4 \text{ м}^2/\text{кг}$  и  $819,3 \text{ м}^2/\text{кг}$  соответственно (табл. 1, рис. 3, а, б).

Индекс распространения пламени по поверхности незащищенного образца древесины составил 56,7. Во время испытаний образцов древесины с геоцементным покрытием было установлено, что образец загорелся только через 890 с, распространение пламени по по-

Таблица 1

Результаты определения горючести и дымообразования образцов древесины

Образец древесины	Горючесть		Дымообразование	
	Максимальная температура газообразных продуктов горения [°C]	Потеря массы образца [%]	Коэффициент дымообразования [м <sup>2</sup> /кг]	
			В режиме горения	В режиме тления
Незащищенный	952	78	549,8	819,3
Защищенный покрытием	185	4,4	84,9	256,4
Нормативное значение	≤240	<60	50<D <sub>m</sub> <500	50<D <sub>m</sub> <500

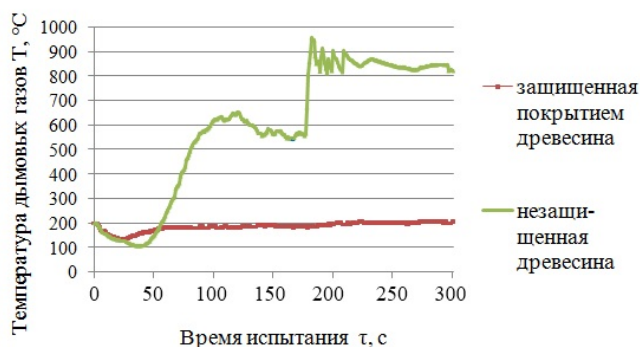


Рис. 1. Динамика нарастания температуры газообразных продуктов горения при испытаниях на определение горючести образцов древесины

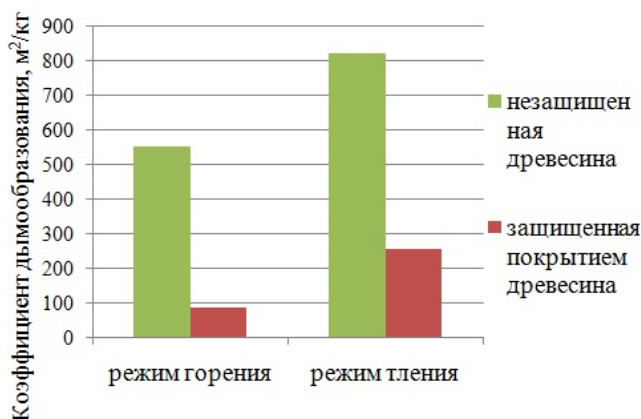


Рис. 2. График сравнения коэффициента дымообразования температуры при испытании на определение дымообразования образцов древесины

На рис. 3 показан вид образцов древесины после испытаний горючести, дымообразования и индекса распространения пламени. Наглядно можно убедиться в эффективности огнезащитного покрытия на основе гецементна, так как повреждение при распространении пламени у незащищенной древесины (рис. 3, в) произошло по всей площади образца, а у защищенной (рис. 3, г) пламя остановилось на первом участке, так и не распространившись далее.

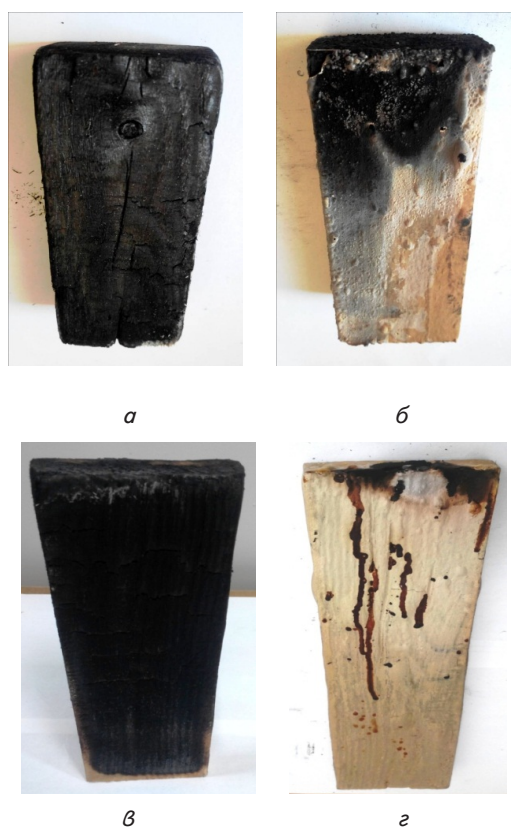


Рис. 3. Вид образцов древесины после испытаний горючести, дымообразования (а – незащищенный; б – защищенный) и индекса распространения пламени (в – незащищенный; г – защищенный)

Таблица 2

Время распространения пламени по поверхности древесины по контрольным точкам

Образец древесины	Температура дымовых газов, [°C]		Время прохождения пламени участков образцов, [с]										Время достижения максимальной температуры дымовых газов, [с]	Длина повреждения образца, [мм]	Индекс распространения пламени
	T <sub>1</sub>	T <sub>max</sub>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Незащищенный	88	367	21	25	5	22	48	47	32	45	99	32	121	298	56,7
Защищенный	91	106	890	–	–	–	–	–	–	–	–	–	288	15	4,2

## 6. Выводы

Обосновано применение покрытия на основе геоце-мента для защиты древесины от горения. Результаты испытания горючести защищенной древесины показали уменьшение потери массы на 94 %, температуры газообразных продуктов горения на 80 % в сравнении с незащищенной древесиной, и на 93 % и 23 % соответственно по нормативным показателям. Дымообразование защищенной древесины уменьшилось по срав-

нению с незащищенной древесиной на 84 % в режиме горения и на 69 % в режиме тления, а по нормативным показателям на 83 % и 49 % соответственно. Индекс распространения пламени у защищенной древесины снизился в 7 раз в сравнении с незащищенной древесиной.

Исходя из полученных данных, следует вывод, что древесина сосны, защищенная покрытием на основе геоцемента, относится к трудногорючим материалам с умеренным дымообразованием и низким индексом распространения пламени по поверхности.

## Литература

1. Жартовский, В. М. Профилактика горіння целюлозовмісних матеріалів [Текст] / В. М. Жартовский, Ю. В. Цанко. – Теорія та практика. – Київ: УкрНДІПБ МНС України. – 2006. – 256 с.
2. Anderson, Ch. E. Intumescent Reaction Mechanisms [Текст] / Ch. E. Anderson, Jr. J. Dziuk, W. A. Mallow, J. Buckmaster // Journal of Fire Science. – 1985. – Vol. 3, Issue 3. – P. 161–194. doi: 10.1177/073490418500300303
3. Корольченко, А. Я. Пожарная опасность строительных материалов. [Текст] / А. Я. Корольченко, Д. В. Трушкин. – Москва: Пожнаука, 2005. – 232 с.
4. Беликов, А. С. Повышение уровня пожарной безопасности за счет применения вспучивающихся огнезащитных композиций [Текст] / А. С. Беликов, В. А. Шаломов, С. Ю. Рагимов, М. М. Удянский // Проблемы пожарной безопасности. – 2013. – № 34. – С. 30–39.
5. Bartholmai, M. Influence of external heat flux and coating thickness on the thermal insulation properties of two different intumescent coatings using conecalorimeter and numerical analysis [Текст] / M. Bartholmai, R. Schriever, B. Scharfel // Fire and Materials. – 2003. – Vol. 27, Issue 4 – P. 151–162. doi: 10.1002/fam.823
6. Wladyka-Przybylak, M. Combustion characteristics of wood protected by intumescent coatings and the influence of different additives on fire retardant effectiveness of the coatings [Текст] / M. Wladyka-Przybylak // Molecular crystals and liquid crystals science and technology. Section A. Molecular crystals and liquid crystals. – 2000. – Vol. 354, Issue 1. – P. 449–456. doi: 10.1080/10587250008023638
7. Пушкарьова, К. К. Ефективні теплоізоляційні матеріали на основі лужних алюмосилікатних систем [Текст] / К. К. Пушкарьова, О. А. Гончар, А. І. Борисова // Збірник наукових праць ВАТ «УкрНДІВогнетривів ім. А. С. Бережного». – 2010. – № 110. – С. 582–586.
8. Кривенко, П. В. Розробка фізико-хімічних основ направленої синтезу неорганічних в'язучих в системі Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O для отримання екологічно-безпечних спучуваних матеріалів [Текст] / П. В. Кривенко, К. К. Пушкарьова, М. В. Суханевич // Будівництво України. – 1997. – № 2. – С. 46–49.
9. Кривенко, П. В. Дослідження реологічних властивостей модифікованих геоцементів [Текст] / П. В. Кривенко, С. Г. Гузій, В. І. Киричок, Я. Манак // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2013. – № 48. – С. 89–93.
10. Гузій, С. Г. Дослідження стадійності фазових переходів в'язучої системи складу Na<sub>2</sub>O×Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>×6SiO<sub>2</sub>×20H<sub>2</sub>O в інтервалі температур 150–1050 °С [Текст] / С. Г. Гузій, П. В. Кривенко, А. В. Кравченко, Я. Манак // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2013. – Вип. 49. – С. 13–20.
11. Кравченко, А. В. Вплив алюмінатних добавок на спучення геоцементного покриття для вогнезахисту деревини [Текст] / А. В. Кравченко // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – Т. 3, № 5(17). – С. 40–42. doi: 10.15587/2312-8372.2014.27934