

**Ф. А. ПОРТНОВ**, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com)

УДК 699.8:614.8+544+630.3

## ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕНОКОКСА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ РАЗЛОЖЕНИИ ДРЕВЕСИНЫ

Приведены результаты исследования влияния модификаторов поверхностного слоя древесины, в качестве которых использованы фосфорсодержащие антипирены, на структуру и свойства коксового слоя, образующегося при термическом разложении. Для оценки влияния модификаторов на процесс образования коксового слоя исследованы исходные и модифицированные образцы древесины сосны до и после термического разложения методами электронной микроскопии и адсорбции. Проведен термический анализ методами термогравиметрии (ТГ), дифференциальной термогравиметрии (ДТГ) и дифференциально-сканирующей калориметрии. Сделаны выводы о влиянии эффективных модификаторов на протекание термического разложения древесины. Установлена возможность "мягкого" термического разложения в случае укрепления структуры древесины и уменьшения ее пористости.

**Ключевые слова:** термическое разложение; древесина; модифицирование; термогравиметрия; поверхностный слой; карбонизованный слой.

**DOI:** 10.18322/PVB.2018.27.04.24-31

### Введение

Древесина является природным строительным материалом. В настоящее время деревянное зодчество приобрело большое значение и актуальность в России. Древесина является легкодоступным материалом, который достаточно экономичен с точки зрения его обработки и производства древесных строительных материалов. Одна из важных характеристик древесины — ее экологичность. Пребывание человека в зданиях, построенных с применением строительных конструкций или отделки из древесины, полезно для здоровья человека. Кроме того, одно из достоинств древесины заключается в возможности вторичного использования отходов производства древесных строительных материалов [1–5].

Исходная древесина обладает высокой пожарной опасностью. В ряде работ изучены стадии термического разложения древесины. В области низких температур происходит дегидратация древесины, при этом потеря массы образца составляет около 7 %. Карбонизации древесины на этой стадии не наблюдается. Известно, что первая стадия термического разложения древесины начинается при температуре 300–320 °С. На этой стадии происходит выгорание образца древесины более чем на 60 %, а также коксование ее поверхности. При температуре выше

420 °С наблюдается дальнейшее выгорание образца. Потеря массы в этой области достигает 25 %. Предел огнестойкости деревянных, в частности вертикальных, конструкций характеризуется временем достижения предельного сечения при горении. При этом происходит послойное выгорание материала. Термическое разложение более глубоких слоев древесины наблюдается при частичном разложении и механическом разрушении наружных слоев. Известно, что карбонизованный слой древесины характеризуется большей пористостью по сравнению с древесиной до термического разложения и хрупкостью, тем не менее такой слой может обеспечить устойчивость подложки к воздействию высоких температур. Увеличение устойчивости поверхностного слоя древесины к воздействию пламени является фактором повышения предела огнестойкости [6–8].

Один из наиболее эффективных способов изменения структуры и свойств поверхности древесных материалов — поверхностное адсорбционно-химическое модифицирование. Модифицирование древесины происходит при поверхностном нанесении реакционноспособных растворов (10–30 %) элементоорганических соединений (фосфор-, кремний-содержащих, боразотных) в нормальных условиях ( $t = 20 \div 25$  °С,  $P = 1$  атм). Глубина пропитки при этом составляет 0,5–1,0 мм [9–11].

На основании вышеизложенного определена цель настоящей работы — оценка влияния модификаторов поверхностного слоя древесины на образование коксового слоя древесины при ее термическом разложении и на его характеристики. Для ее реализации необходимо решить следующие задачи:

- провести оценку процесса термического разложения древесины, модифицированной различными модификаторами поверхностного слоя;
- оценить влияние динамики термического разложения и природы модификатора на свойства и структуру образующегося поверхностного коксового слоя.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования является древесина заболони сосны. В качестве модификаторов в работе были использованы 20 %-ные растворы алкильных эфиров кислот фосфора: диметилфосфита (ДМФ), диэтилфосфита (ДЭФ), дифенилфосфита (ДФФ) и полифосфата аммония ПФА-1 (степень полимеризации  $n > 1000$ ). Составы наносились поверхностно при нормальных условиях в три слоя с расходом 300 г/м<sup>2</sup>.

Исследование влияния модификаторов на термическое разложение древесины проводилось методом термического анализа с использованием прибора Netzsch STA 409С. Этот прибор позволяет получить данные по термогравиметрии (ТГ), дифференциальной термогравиметрии (ДТГ) и дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) [12–15].

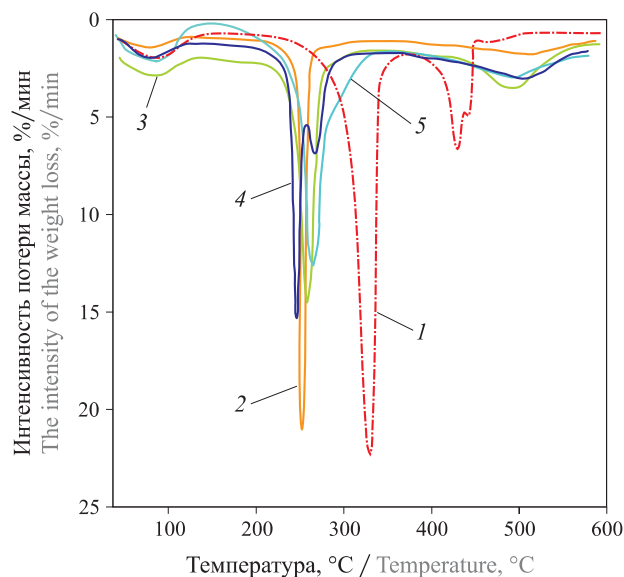
Анализ поверхности карбонизованного слоя древесины исходной и модифицированной после тер-

мического разложения был проведен методом растровой электронной микроскопии [16, 17].

Свойства пористой структуры слоя исходной и модифицированной древесины изучались методом сорбции паров воды [18–20].

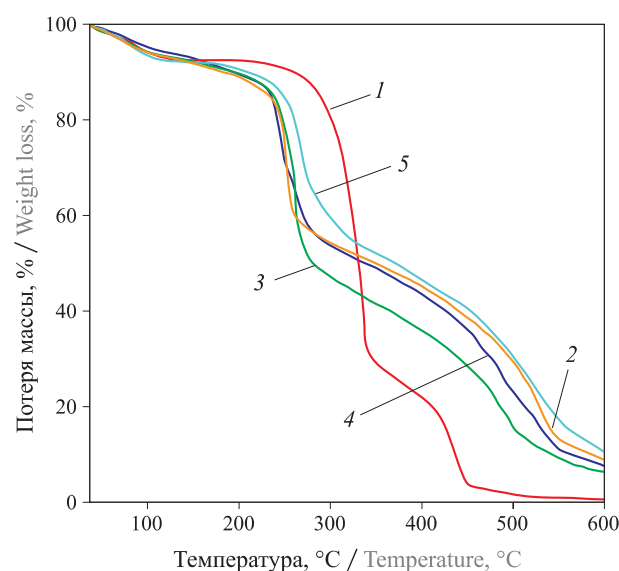
### Результаты эксперимента

На рис. 1–3 представлены данные по термическому разложению исходной, а также модифицированной древесины. На рис. 1 показана зависимость



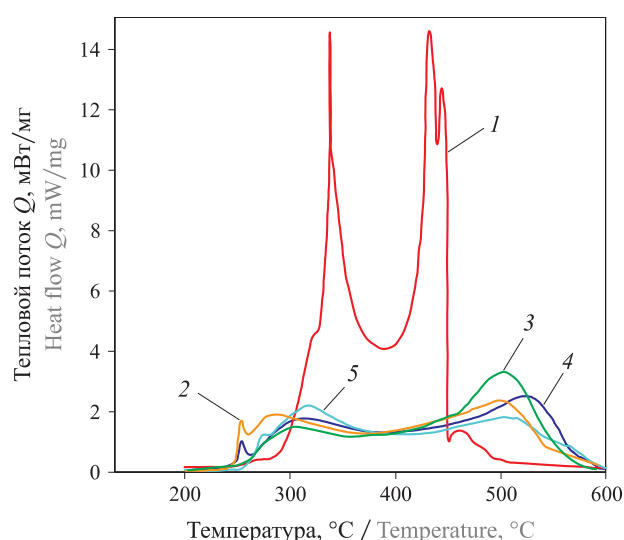
**Рис. 2.** Дифференциальная термогравиметрия древесины исходной (1) и модифицированной ДМФ (2), ДЭФ (3), ДФФ (4) и ПФА-1 (5)

**Fig. 2.** Differential thermogravimetry of the original wood (1) and wood modified by DMF (2), DEF (3), DFF (4) and APF-1 (5)



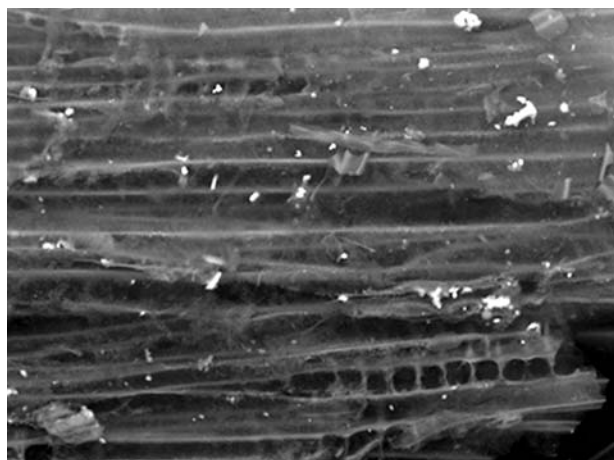
**Рис. 1.** Термогравиметрия древесины исходной (1) и модифицированной ДМФ (2), ДЭФ (3), ДФФ (4) и ПФА-1 (5)

**Fig. 1.** Thermogravimetry of the original wood (1) and wood modified by DMF (2), DEF (3), DFF (4) and APF-1 (5)



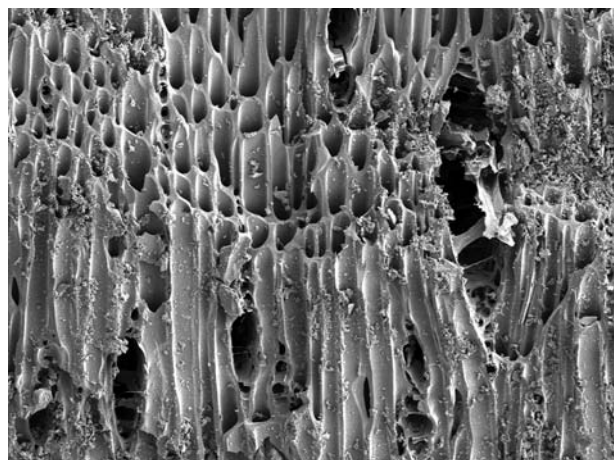
**Рис. 3.** Дифференциально-сканирующая калориметрия древесины исходной (1) и модифицированной ДМФ (2), ДЭФ (3), ДФФ (4) и ПФА-1 (5)

**Fig. 3.** Differential-scanning calorimetry of the original wood (1) and wood modified by DMF (2), DEF (3), DFF (4) and APF-1 (5)



**Рис. 4.** Карбонизованный слой исходной древесины при увеличении  $200\times$

**Fig. 4.** Carbonized surface of the original wood at magnification of  $200\times$



**Рис. 7.** Карбонизованный слой древесины, модифицированной ДФФ, при увеличении  $200\times$

**Fig. 7.** Carbonized surface of the wood modified by DFF at magnification of  $200\times$



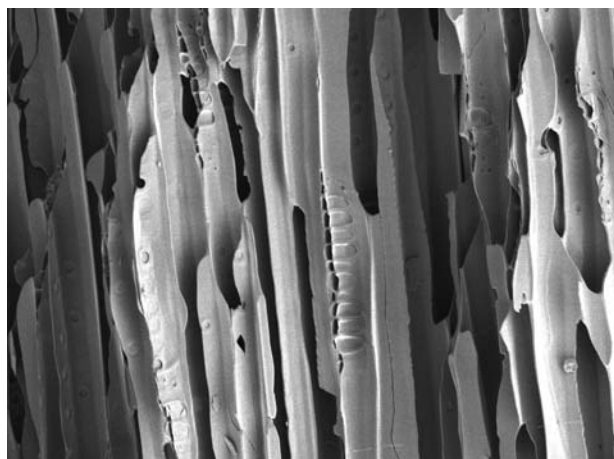
**Рис. 5.** Карбонизованный слой древесины, модифицированной ДМФ, при увеличении  $300\times$

**Fig. 5.** Carbonized surface of the wood modified by DMF at magnification of  $300\times$



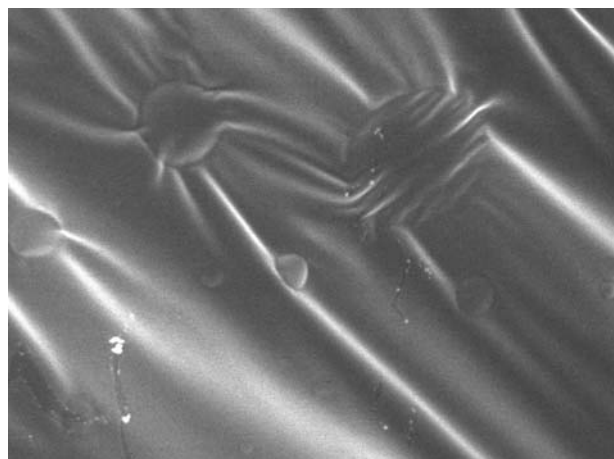
**Рис. 8.** Карбонизованный слой древесины, модифицированной ПФА-1, при увеличении  $200\times$

**Fig. 8.** Carbonized surface of the wood modified by APF-1 at magnification of  $200\times$



**Рис. 6.** Карбонизованный слой древесины, модифицированной ДЭФ, при увеличении  $200\times$

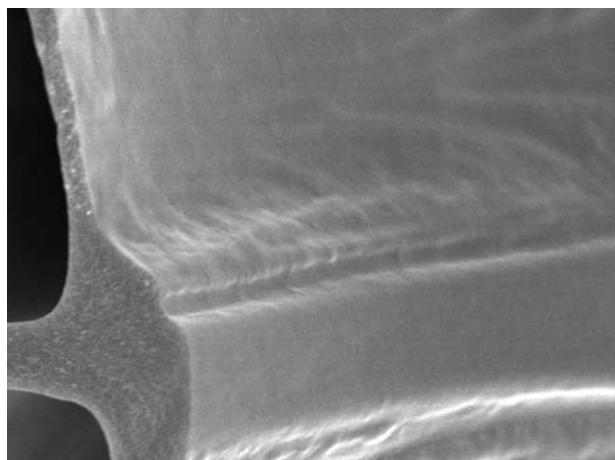
**Fig. 6.** Carbonized surface of the wood modified by DEF at magnification of  $200\times$



**Рис. 9.** Карбонизованный слой древесины, модифицированной ДМФ, при увеличении  $5000\times$

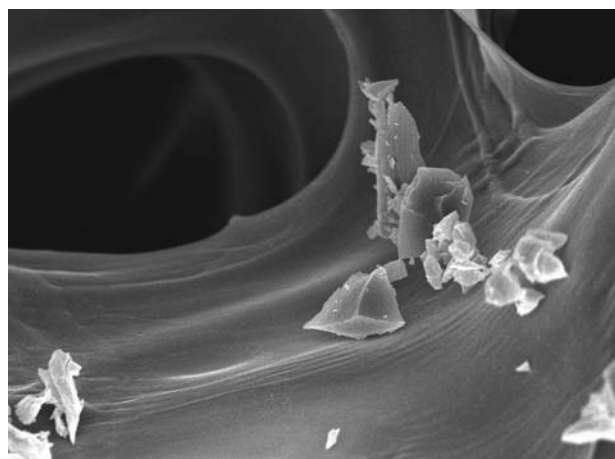
**Fig. 9.** Carbonized surface of the wood modified by DMF at magnification of  $5000\times$





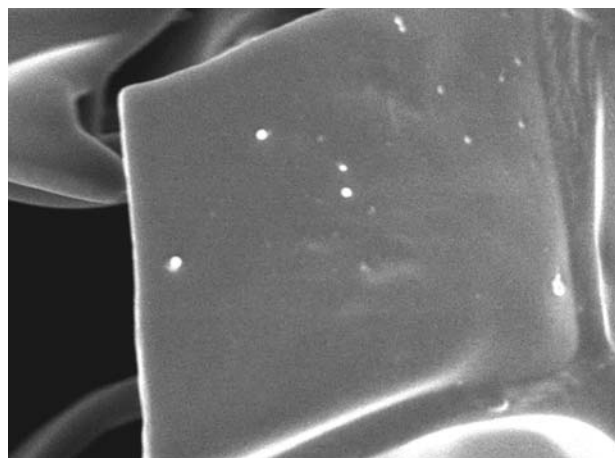
**Рис. 10.** Карбонизованный слой древесины, модифицированной ДЭФ, при увеличении 10000<sup>x</sup>

**Fig. 10.** Carbonized surface of the wood modified by DEF at magnification of 10000<sup>x</sup>



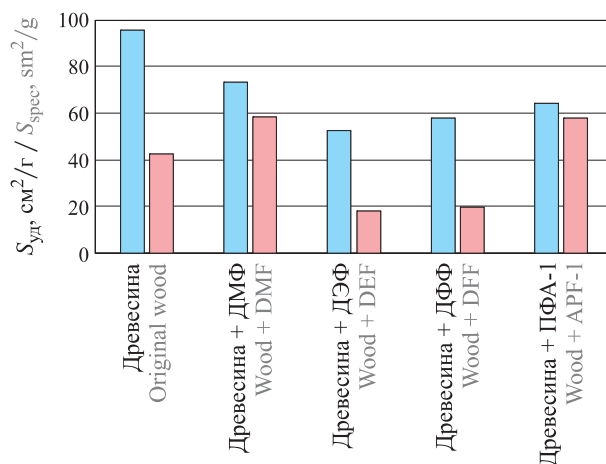
**Рис. 11.** Карбонизованный слой древесины, модифицированной ДФФ, при увеличении 10000<sup>x</sup>

**Fig. 11.** Carbonized surface of the wood modified by DFF at magnification of 10000<sup>x</sup>



**Рис. 12.** Карбонизованный слой древесины, модифицированной ПФА-1, при увеличении 10000<sup>x</sup>

**Fig. 12.** Carbonized surface of the wood modified by APF-1 at magnification of 10000<sup>x</sup>



**Рис. 13.** Удельная площадь поверхности  $S_{уд}$  поверхностного слоя исходной и модифицированной древесины до (■) и после (■) термического разложения

**Fig. 13.** Specific surface area  $S_{spec}$  of the surface layer of the original and modified wood before (■) and after (■) thermal decomposition

потери массы образца при равномерном повышении температуры (10 °C/c), на рис. 2 — характерные пики термического разложения, на рис. 3 — тепловые эффекты термического разложения.

На рис. 4 и 5 представлены результаты электронной микроскопии — снимки поверхности исходной и модифицированной древесины при увеличении 200 и 10000 крат соответственно.

Изменение пористой структуры до и после термического разложения показано на рис. 13. На основании испытаний методом сорбции паров воды были получены данные по удельной площади поверхности пористой структуры древесины (см. рис. 13). При испытаниях методом адсорбции азота было получено распределение пор в поверхностном карбонизованном слое древесины.

### Обсуждение

Из экспериментальных данных видно, что первая стадия термического разложения при модифицировании древесины фосфорсодержащими модификаторами смещается в область меньших температур (220–240 °C), при этом интенсивность термического разложения значительно снижается по сравнению с исходной древесиной. Вторая стадия термического разложения при модифицировании смещается в область больших температур (510–530 °C) по сравнению с исходной древесиной (450 °C). ДСК-кривые показывают, что экзотермические эффекты реакции термического разложения значительно менее выражены для древесины, модифицированной фосфорсодержащими соединениями. При этом в случае использования в качестве модификатора диэтилфосфита термическое разложение на первой стадии проходит без ярко выраженных экзотермических пиков,

что можно охарактеризовать как “мягкое” термическое разложение. Для исходной древесины, а также древесины, модифицированной остальными из рассматриваемых модификаторов, первая стадия термического разложения протекает с наличием двух экзотермических пиков.

При анализе снимков, полученных при 200-кратном увеличении с помощью электронного микроскопа, видно, что в случае применения в качестве модификатора ДМФ на поверхности древесины образуется пленка, вероятно, из продуктов разложения модификатора, с открытыми устьями капилляров. При использовании в качестве модификатора ДФФ и ПФА-1 структура карбонизованного слоя является непостоянной. В условиях “мягкого” термического разложения при использовании в качестве модификатора ДЭФ происходит образование постоянной равномерной структуры карбонизованного слоя. Это связано с отсутствием разрушительных экзотермических эффектов при термическом разложении. При увеличении 10000 крат наблюдается следующая картина. При использовании ДМФ на снимках видна упомянутая выше пленка. В случае применения ДФФ и ПФА-1 на поверхности карбонизованного слоя обнаруживаются частицы модификатора, что характеризует неполное взаимодействие последнего с поверхностью древесины. При использовании ДЭФ наблюдается ярко выраженная прочная карбонизованная структура.

При оценке свойств пористой структуры древесины до и после термического разложения наиболь-

шая удельная площадь поверхности образцов, характеризующая наибольший размер пор, наблюдается в случае применения в качестве модификатора ДМФ. При использовании ДЭФ в карбонизованном слое образуется структура с наименьшим объемом и радиусом пор. При этом наименьшая удельная площадь поверхности образцов также характерна для карбонизованного слоя древесины, модифицированной ДЭФ.

### Выводы

Динамика термического разложения древесины изменяется в случае ее модифицирования эффективными фосфорсодержащими модификаторами поверхностного слоя. Общей для всех рассмотренных случаев тенденцией является смещение первой стадии термического разложения в область меньших температур, в условиях которых происходит образование более прочной структуры карбонизованного слоя. Это подтверждается уменьшением удельной площади поверхности карбонизованного слоя и образованием ровной, неразрушенной структуры поверхности в случае применения модификаторов. При использовании в качестве модификатора ДЭФ происходит “мягкое” термическое разложение — протекание этого процесса без значительных экзотермических эффектов. Образующийся при этом карбонизованный слой имеет равномерную неразрушенную структуру с наименьшим размером пор, что характеризует достаточную прочность подобной структуры в условиях пожара.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ксавье Деглиз. “Экологический менеджмент” лесов и изделий из древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin. — 2017. — Т. 21, № 4. — С. 6–9. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-6-9.
2. Pastori Z., Czupy I., Gorbacheva G. A. Using poplar stud elements in light frame wall structure instead of coniferous // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin. — 2017. — Vol. 21, No. 4. — P. 89–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-89-94.
3. Safin R. R., Shaikhutdinova A. S., Khasanshin R. R., Akhunova L. V., Safina A. V. Improving the energy efficiency of solid wood fuel // 15<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Surveying Geology and Mining Ecology Management : SGEM2015 Conference Proceedings. — 2015. — Book 4. — P. 315–322. DOI: 10.5593/SGEM2015/B41/S17.041. URL: <https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article6145> (дата обращения: 10.03.2018).
4. Михалева С. А. Деревянные высотки в России — инновационный взгляд на современное строительство // Международный научно-исследовательский журнал. — 2016. — № 4–7(46). — С. 19–21. DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.174.
5. Pasztory Z., Peralta P., Molnar S., Peszlen I. Modeling the hygrothermal performance of selected North American and comparable European wood-frame house walls // Energy & Buildings. — 2012. — Vol. 49. — P. 142–147. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.02.003.
6. Макишев Ж. К., Сивенков А. Б. Изучение процесса обугливания деревянных конструкций различного срока эксплуатации методами термического анализа // Технологии техносферной безопасности. — 2016. — № 1(65). — С. 84–88.
7. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. — М. : Пожнаука, 2001. — 382 с.

8. João Pedro dos Santos Laranjeira, Helena Cruz, Ana Paula Ferreira Pinto, Carlos Pina dos Santos, Joana Filipa Pereira. Reaction to fire of existing timber elements protected with fire retardant treatments: experimental assessment // *International Journal of Architectural Heritage*. — 2015. — Vol. 9, No. 7. — P. 866–882. DOI: 10.1080/15583058.2013.878415.
9. Стенин А. А. Улучшение свойства строительных материалов из древесины за счет модификации ее поверхности // *Строительство — формирование среды жизнедеятельности : сборник докладов XVI Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых*. — М. : МГСУ, 2013. — С. 553–559.
10. Покровская Е. Н. Химико-физические основы увеличения долговечности древесины. — М. : Изд-во АСВ, 2003. — 104 с.
11. Laurichesse S., Avérous L. Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers // *Progress in Polymer Science*. — 2014. — Vol. 39, No. 7. — P. 1266–1290. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2013.11.004.
12. Антюфеева Н. В., Алексахин В. М. Применение методов термического анализа для определения показателей технологических и эксплуатационных свойств материалов // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. — 2017. — № 1. — С. 55–64.
13. Costa V. J., Vieira R. M., Girotto S. B. F. T., Simioni F. J. Pyrolysis and thermogravimetry of blended and nonblended residues of pine and eucalyptus forestry woods // *Environmental Progress and Sustainable Energy*. — 2016. — Vol. 35, No. 5. — P. 1521–1528. DOI: 10.1002/ep.12372.
14. Islamova S. I., Khamatgalimov A. R. Thermogravimetric and kinetic analyses of the thermal decomposition of fuel wood // *Solid Fuel Chemistry*. — 2017. — Vol. 51, No. 2. — P. 83–87. DOI: 10.3103/s0361521917020045.
15. Mar'yandyshev P. A., Chernov A. A., Lyubov V. K. Analysis of thermogravimetric data for different forms of wood // *Solid Fuel Chemistry*. — 2015. — Vol. 49, No. 2. — P. 117–122. DOI: 10.3103/s0361521915020081.
16. Панова Т. В. Современные методы исследования вещества. Электронная и оптическая микроскопия : учебное пособие. — Омск : Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, 2016. — 80 с.
17. Goldstein J. I., Yakowitz H. (eds.). Practical scanning electron microscopy. — New York – London : Plenum Press, 1975. — 582 p. DOI: 10.1007/978-1-4613-4422-3.
18. Ruthven D. M. Principles of adsorption and adsorption processes. — New York etc. : John Wiley & Sons, Inc., 1984. — 433 p.
19. Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники. — М. : Мир, 1984. — 592 с.
20. Kulasinski K., Guyer R., Derome D., Carmeliet J. Water adsorption in wood microfibril-hemicellulose system: role of the crystalline-amorphous interface // *Biomacromolecules*. — 2015. — Vol. 16, No. 9. — P. 2972–2978. DOI: 10.1021/acs.biomac.5b00878.

Материал поступил в редакцию 15 марта 2018 г.

**Для цитирования:** Портнов Ф. А. Влияние модификаторов на характеристики пенококса, образующегося при термическом разложении древесины // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 24–31. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.24-31.

English

## INFLUENCE OF MODIFIERS ON COKED FOAM STRUCTURE AND PROPERTIES FORMED WITH THERMAL DECOMPOSITION OF WOOD

**PORTNOV F. A.**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com)

### ABSTRACT

**Introduction.** Currently, wood-based construction materials are in high demand in the field of construction around the globe. The study of the original wood composite in order to improve its characteristics through various methods is scientific pre-requisity for such development. When wood burns, it forms a surface coke layer, which can differ in mechanical and thermal stability. These

parameters produce a significant effect on the fire resistance rating of building structures due to a change in the reduction rate of the structure useful cross section.

**Materials and methods.** The studies carried out during the work are related to the evaluation of the characteristics of coke layer formed during thermal decomposition of wood. Thermal analysis methods, the scanning electron microscopy method and the water adsorption method were used. The original sapwood of pine, as well as the wood modified with effective fire-retardant agents were used in the course of work.

**Results.** Based on conducted experiments process graphic dependences of thermal decomposition have been obtained, as well as images, obtained by an electronic microscope. In addition, the dependence of adsorptive capacity of wood after thermal decomposition has been obtained.

**Discussions.** As a result of the study, it was found that with the use of modifiers based on organophosphorous compounds, entering into effective reaction with wood, structuring of the surface layer occurs after thermal decomposition while reducing the size of specific surface area of wood.

**Conclusions.** Based on the analysis of experimental data, we can conclude that because of the use of efficient wood surface layer modifiers, thermal decomposition takes place under “mild” conditions that is the shift of the first stage of thermal decomposition to the area of lower temperatures with non-severe exothermic effects. The loss of weight of samples during combustion is significantly reduced. This causes high fire-retardant efficiency and low smoke-generating capacity.

**Keywords:** thermal decomposition; timber; modification; thermogravimetry; surface layer; coke layer.

## REFERENCES

1. Xavier Deglise. “Ecological management” of forests and wood products. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 8–9. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-6-9.
2. Pastori Z., Czupy I., Gorbacheva G. A. Using poplar stud elements in light frame wall structure instead of coniferous. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 89–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-89-94.
3. Safin R. R., Shaikhutdinova A. S., Khasanshin R. R., Akhunova L. V., Safina A. V. Improving the energy efficiency of solid wood fuel. In: *15<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Surveying Geology and Mining Ecology Management. SGEM2015 Conference Proceedings*, 2015, book 4, pp. 315–322. DOI: 10.5593/SGEM2015/B41/S17.041. Available at: <https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article6145> (Accessed 10 March 2018).
4. Mikhaleva S. A. Wooden skyscraper in Russia — an innovative approach to modern construction. *Mezhdunarodnyy naučno-issledovatel'skiy zhurnal / International Research Journal*, 2016, no. 4–7(46), pp. 19–21 (in Russian). DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.174.
5. Pasztory Z., Peralta P., Molnar S., Peszlen I. Modeling the hygrothermal performance of selected North American and comparable European wood-frame house walls. *Energy & Buildings*, 2012, vol. 49, pp. 142–147. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.02.003.
6. Makishev Zh. K., Sivenkov A. B. The study of the process of carbonization wood structures of different period of operation by means of thermal analysis. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2016, no. 1(65), pp. 84–88 (in Russian).
7. Roytman V. M. *Inzhenernyye resheniya po otsenke ognestoykosti proyektiruyemykh i rekonstruiyemykh zdaniy* [Engineering solutions for fire resistance assessment designed and renovated buildings]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2001. 382 p. (in Russian).
8. João Pedro dos Santos Laranjeira, Helena Cruz, Ana Paula Ferreira Pinto, Carlos Pina dos Santos, Joana Filipa Pereira. Reaction to fire of existing timber elements protected with fire retardant treatments: experimental assessment. *International Journal of Architectural Heritage*, 2015, vol. 9, no. 7, pp. 866–882. DOI: 10.1080/15583058.2013.878415.
9. Stenin A. A. Improving the properties of building materials from wood by modifying its surface. In: *Stroitelstvo — formirovaniye sredy zhiznedeyatel'nosti. Sbornik dokladov XVI Mezhdunarodnoy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Construction — the Formation of the Environment of Life. Collection of Reports of XVI International Interuniversity Scientific-Practical Conference of Students, Undergraduates, Graduate Students and Young Scientists]. Moscow, MGSU Publ., 2013, pp. 553–559 (in Russian).
10. Pokrovskaya E. N. *Khimiko-fizicheskiye osnovy uvelicheniya dolgovechnosti drevesiny* [Chemical and physical basis for increasing the longevity of wood]. Moscow, ASV Publ., 2003. 104 p. (in Russian).
11. Laurichesse S., Avérous L. Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers. *Progress in Polymer Science*, 2014, vol. 39, no. 7, pp. 1266–1290. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2013.11.004.



12. Antyufeyeva N. V., Aleksashin V. M. Application of thermal analysis methods to determine factors of technological and operating properties of materials. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik / All Materials. Encyclopedic Directory*, 2017, no. 1, pp. 55–64 (in Russian).
13. Costa V. J., Vieira R. M., Girotto S. B. F. T., Simioni F. J. Pyrolysis and thermogravimetry of blended and nonblended residues of pine and eucalyptus forestry woods. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 2016, vol. 35, no. 5, pp. 1521–1528. DOI: 10.1002/ep.12372.
14. Islamova S. I., Khamatgalimov A. R. Thermogravimetric and kinetic analyses of the thermal decomposition of fuel wood. *Solid Fuel Chemistry*, 2017, vol. 51, no. 2, pp. 83–87. DOI: 10.3103/s0361521917020045.
15. Mar'yandyshev P. A., Chernov A. A., Lyubov V. K. Analysis of thermogravimetric data for different forms of wood. *Solid Fuel Chemistry*, 2015, vol. 49, no. 2, pp. 117–122. DOI: 10.3103/s0361521915020081.
16. Panova T. V. *Sovremennyye metody issledovaniya veshchestva. Elektronnaya i opticheskaya mikroskopiya* [Modern research methods of substance. Electronic and optical microscopy]. Omsk, Dostoevsky Omsk State University Publ., 2016. 80 p. (in Russian).
17. Goldstein J. I., Yakowitz H. (eds.). *Practical scanning electron microscopy*. New York, London, Plenum Press, 1975. 582 p. DOI: 10.1007/978-1-4613-4422-3.
18. Ruthven D. M. *Principles of adsorption and adsorption processes*. New York etc., John Wiley & Sons, Inc., 1984. 433 p.
19. Keltsev N. V. *Osnovy adsorbtsionnoy tekhniki* [Basics of adsorption technique]. Moscow, Mir Publ., 1984. 592 p. (in Russian).
20. Kulasinski K., Guyer R., Derome D., Carmeliet J. Water adsorption in wood microfibril-hemicellulose system: role of the crystalline-amorphous interface. *Biomacromolecules*, 2015, vol. 16, no. 9, pp. 2972–2978. DOI: 10.1021/acs.biomac.5b00878.

**For citation:** Portnov F. A. Influence of modifiers on coked foam structure and properties formed with thermal decomposition of wood. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 24–31 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.24-31.



## САМОРЕГУЛИРУЮЩАЯСЯ СИСТЕМА ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ “MOVINKLER”

Саморегулирующаяся система пожаротушения “Movinkler” позволяет обнаруживать очаг возгорания путем кругового сканирования пространства помещения при помощи поворотного механизма. Если датчик тепла зафиксировал слишком высокую температуру, подается команда на исполнительное устройство, которое активирует подачу направленной струи воды на очаг пожара, и только после понижения температуры в данной области вода будет перекрыта.

Главным достоинством системы “Movinkler” является то, что очаг пожара фиксируется при помощи пирокамеры, а не датчика температуры, что позволяет обнаружить и потушить пожар в момент его зарождения. Данная система обладает также большим радиусом обнаружения и тушения пожара и способна тушить его даже в мертвых зонах.

Еще одним немаловажным достоинством системы является экономное использование воды. Ее используется ровно столько, сколько необходимо для тушения пожара, что позволяет избежать полного затопления помещения, а значит, находящихся в нем мебели и предметов.

[http://guarda.ru/fire\\_system/1/](http://guarda.ru/fire_system/1/)