

**Е. Н. ПОКРОВСКАЯ**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: elenapokrovskaya@bk.ru)

**Ф. А. ПОРТНОВ**, канд. техн. наук, ассистент кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

УДК 699.8:614.8+544+630.3

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МОДИФИКАТОРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДРЕВЕСИНЫ

Изучена модификация древесины эфирами фосфористой кислоты в целях уменьшения пожароопасных свойств. Отмечено, что выбор эффективных модификаторов поверхностного слоя является наиболее важной задачей при обеспечении огнезащитности древесины и что для правильного выбора необходимо знать оптимальные характеристики модификаторов, позволяющие оценивать их эффективность. Определены термодинамические параметры поверхности модифицированной древесины. Обоснованы высокие значения свободной поверхностной энергии при изучении структуры поверхности и поверхностного слоя модифицированной древесины. Показана связь энергетических характеристик поверхности модифицированной древесины, эффективности модификаторов поверхностного слоя, структуры поверхностного слоя и пожароопасных характеристик древесины. На основании полученных данных показана возможность термодинамической оптимизации модификаторов при создании защитных составов.

**Ключевые слова:** древесина; модифицирование; термодинамика; поверхностный слой; фосфорорганические соединения; оптимизация.

**DOI:** 10.18322/PVB.2017.26.05.29-36

### Введение

Модифицирование является эффективным способом улучшения эксплуатационных характеристик строительных материалов, в том числе древесины [1–4]. Различают механическое, термическое и химическое модифицирование. Технологически наиболее простым и доступным является поверхностное химическое модифицирование, которое позволяет снизить пожароопасность и гидрофильность материалов и конструкций, повысить сопротивление биокоррозии. Эффективность поверхностного химического модифицирования определяется выбором модификатора, который, вступая в реакцию переэтификации с компонентами древесины, обуславливает долговечность приобретенных эксплуатационных свойств [5, 6].

Для эффективного модифицирования очень важен выбор модификатора, что является наиболее важной и трудной задачей.

Естественно, что при поверхностном модифицировании свойства поверхности влияют на эффективность процесса модифицирования. Энергетические свойства характеризуются изменением термодинамических характеристик, таких как краевой угол смачивания, поверхностное натяжение и изменение

изобарно-изотермического потенциала поверхности при модифицировании.

Фактором, влияющим на интенсивность поверхностной энергии, является поверхностное натяжение [7]. Расчет изменения изобарно-изотермического потенциала модифицированной поверхности производился на основании объединенного уравнения I и II начал термодинамики [7–12].

Для оценки свободной поверхностной энергии для систем с постоянным химическим составом также используется объединенное уравнение I и II начал термодинамики, имеющее вид:

$$dG = -SdT + Vdp + \sigma dS_{уд} + \mu dn, \quad (1)$$

где  $G$  — энергия Гиббса;

$S$  — энтропия системы;

$T$  — температура системы;

$V$  — объем системы;

$p$  — давление системы;

$\sigma$  — поверхностное натяжение (работа образования единицы площади поверхности);

$S_{уд}$  — удельная площадь поверхности;

$\mu$  — химический потенциал вещества, составляющего конденсированную фазу;

$n$  — число молей.

При изобарно-изотермических условиях и постоянном количестве вещества уравнение (1) имеет вид:

$$dG = \sigma dS_{уд} \quad (2)$$

Поверхностное натяжение твердого тела представляет собой меру энергии единицы площади поверхности материала. Так как изменение изобарно-изотермического потенциала является функцией состояния системы, ее полный дифференциал выражается уравнением

$$\Delta G = \sigma dS_{уд} + S_{уд} d\sigma \quad (3)$$

Изучение поверхностного модифицирования древесины дает возможность заранее оценить эффективность модификаторов поверхностного слоя с помощью термодинамических характеристик ( $\Delta G$ ,  $\sigma$ ).

Наиболее рациональным путем для выбора модификаторов, снижающих пожароопасные свойства материалов, является выбор оптимальных характеристик, позволяющих оценивать эффективность системы *подложка – модификатор*, что является **целью** работы.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**: изучение изменения энергетических характеристик поверхности древесины на примере ее модифицирования эфирами фосфористой кислоты; изучение термодинамической оптимизации модификаторов, снижающих пожароопасные свойства материалов.

### Методы исследования

Оценка характеристик модифицированной древесины проводилась экспериментальным путем.

Химический состав определялся на сканирующем микроскопе Quanta 200 с приставкой для элементного анализа Apollo 40 методом энергодисперсионной спектроскопии [13], что позволяло получать изображения высокой четкости с увеличением более чем в 100000 крат [14, 15]. Во время испытаний проводилась оценка процентного содержания фосфора в образцах модифицированной древесины.

Методом нейтральной капли на установке Easy Drop DSA25S были получены данные по величине краевого угла смачивания  $\theta$  (град) образцов модифицированной древесины [16]. Установка состоит из держателя образца, механизма подачи жидкости через шприц и камеры высокой четкости, которая обеспечивает фиксацию момента соприкосновения капли жидкости с образцом.

Для определения удельной площади поверхности исходной и модифицированной древесины был использован прибор Quantachrome NOVA 4200e [17] и метод Брюнера – Эммета – Теллера (БЕТ), на основе которого измеряется масса газа, адсорбированного образцом, после процедуры дегазации [18].

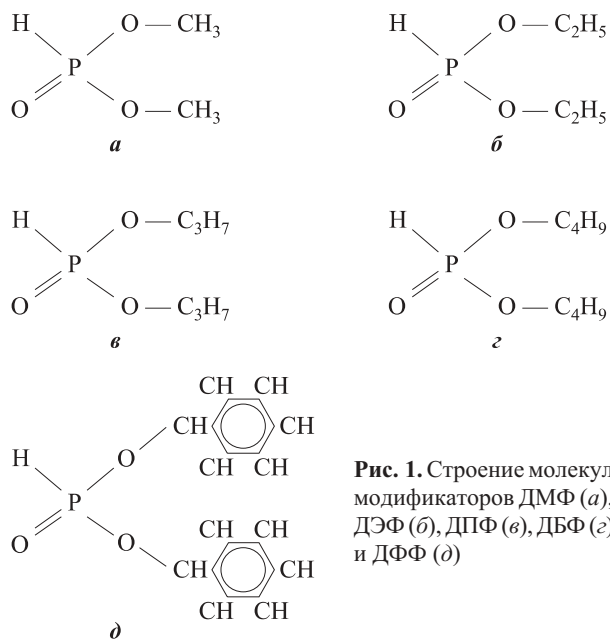
Сущность метода по определению группы огнезащитной эффективности огнезащитных составов [18] заключается в определении потери массы образцом  $\Delta m$  (%) древесины, обработанной испытываемыми составами, при огневом воздействии продолжительностью 2 мин. Методом экспериментального определения коэффициента дымообразования твердых веществ и материалов (ГОСТ Р 53292–2009) была проведена оценка дымообразующей способности образцов модифицированной древесины.

### Экспериментальная часть

Термодинамические характеристики определялись на образцах древесины заболони сосны размером  $40 \times 40 \times 10$  мм, с влажностью 8 %. В качестве модификаторов были использованы 20 %-ные растворы эфиров фосфористой кислоты — диметилфосфита (ДМФ), диэтилфосфита (ДЭФ), дипропилфосфита (ДПФ), дибутилфосфита (ДБФ) и дифенилфосфита (ДФФ) (рис. 1). В литературе [3, 4] отмечено увеличение огнезащитности древесины при модифицировании ее указанными модификаторами.

Задача работы состояла в определении изменения изобарно-изотермического потенциала поверхности модифицированной древесины в зависимости от модификаторов поверхностного слоя, а также в установлении связи энергетических характеристик с физико-химическими свойствами модифицированных образцов.

Модификаторы наносились на поверхность образцов в два слоя при температуре  $20\text{--}25^\circ\text{C}$  с расходом  $300 \text{ г/м}^2$ . Для удаления избыточного количества модификатора, не связанного химическими связями с поверхностью, проводилась экстракция образцов в аппаратах Сокслета (растворитель — ацетон, вода).



**Рис. 1.** Строение молекул модификаторов ДМФ (а), ДЭФ (б), ДПФ (в), ДБФ (з) и ДФФ (д)

**Таблица 1.** Содержание фосфора в поверхностном слое модифицированной древесины

| Модификатор                                | ДМФ  | ДЭФ  | ДПФ | ДБФ  | ДФФ  |
|--------------------------------------------|------|------|-----|------|------|
| Содержание Р до термического разложения, % | 2,87 | 3,57 | 2,6 | 2,65 | 2,45 |

**Таблица 2.** Значения  $\sigma_{кр}$  и  $S_{уд}$  для разных модификаторов

| Показатель                     | Модификатор поверхностного слоя |       |        |       |       |        |
|--------------------------------|---------------------------------|-------|--------|-------|-------|--------|
|                                | Эталон                          | ДМФ   | ДЭФ    | ДПФ   | ДБФ   | ДФФ    |
| $\sigma_{кр} \cdot 10^3$ , Н/м | 25,33                           | 19,91 | 25,03  | 21,97 | 24,19 | 23,03  |
| $S_{уд}$ , см <sup>2</sup> /г  | 42,52                           | 58,56 | 17,081 | 71,49 | 70,37 | 18,289 |

Сушка образцов осуществлялась в сушильном шкафу при температуре 40 °С в течение 6 ч, после чего образцы помещались в эксикатор над безводным CaCl<sub>2</sub> и высушивались при температуре 25 °С в течение 7 сут.

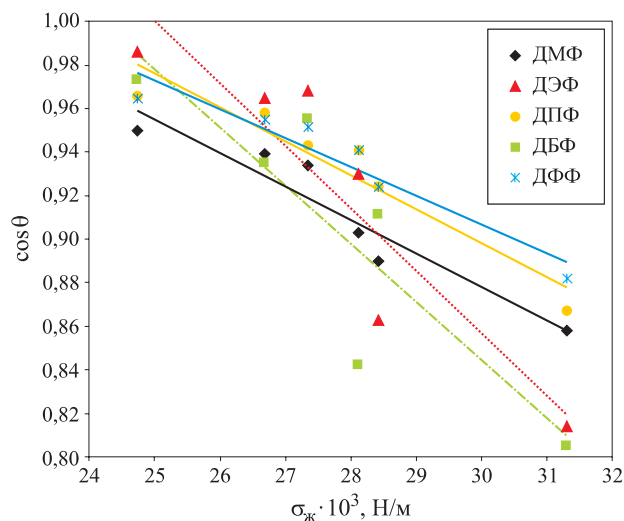
Степень химического взаимодействия модификаторов в поверхностном слое древесины устанавливалась по процентному содержанию фосфора (Р) в образцах после экстракции (табл. 1).

Поверхностное натяжение  $\sigma$  (Н/м) определялось методом нейтральной капли [9, 10] на установке Easy Drop с использованием соответствующего программного обеспечения. Значения удельной площади поверхности  $S_{уд}$  образцов древесины получены на установке NOVA Chrome 2200 методом сорбции азота [16–18] (табл. 2).

На установке Easy Drop получена зависимость краевого угла смачивания от стандартного поверхностного натяжения  $\sigma_{ж}$  (Н/м) капли водно-этанольного раствора различной концентрации  $\cos \theta = f(\sigma_{ж})$  в виде усредненной прямой (рис. 2).

Экстраполируя уравнение прямой до  $\cos \theta = 1$ , можно определить критическое значение поверхностного натяжения  $\sigma_{кр}$ , которое является характеристикой поверхностной энергии единицы площади поверхности (см. табл. 2).

Поверхность образцов модифицированной древесины также изучалась методом электронной микроскопии с использованием растрового электронного микроскопа JSM-840 [14, 15]. Снимки поверхности

**Рис. 2.** Зависимость  $\cos \theta = f(\sigma_{ж})$  при использовании различных модификатора

модифицированной древесины с увеличением 300 крат показаны на рис. 3.

На полученных снимках видно, что поверхность древесины меняется в зависимости от величины алкильного радикала групп  $-OR$  в эфирах фосфористой кислоты. При использовании модификаторов с радикалами  $-C_3H_7$ ,  $-C_4H_9$ ,  $-C_6H_5$  (ДПФ, ДБФ, ДФФ) обеспечивается сплошное укрывание поверхности древесины. При применении модификаторов с радикалами  $-CH_3$ ,  $-C_2H_5$  (ДМФ, ДЭФ) происходит ориентированное выстилание структуры капилляров и возможно выстилание внутренней поверхности капилляров. При эффективном химическом модифицировании наблюдается укрепление стенок капилляров модификатором, что приводит к сокращению пор и уменьшению адсорбции.

Для оценки эксплуатационных характеристик исходной (эталон) и модифицированной древесины были получены данные по ее дымообразующей способности древесины  $D_m$  (м<sup>2</sup>/кг) (ГОСТ 12.1.044–89\*), потере массы при горении  $\Delta m$  (%) (ГОСТ Р 53292–2009) и сорбции паров воды  $a_m$  (%) [19–21] (табл. 3).

На основании полученных данных по параметрам  $S_{уд}$  и  $\sigma_{кр}$  (см. табл. 2) производился расчет изменения изобарно-изотермического потенциала единицы площади поверхности модифицированных образцов (рис. 4).

**Таблица 3.** Пожароопасные свойства и сорбция паров воды исходной и модифицированной древесины

| Показатель                 | Модификатор поверхностного слоя |         |         |         |         |         |
|----------------------------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                            | Эталон                          | ДМФ     | ДЭФ     | ДПФ     | ДБФ     | ДФФ     |
| $D_m$ , м <sup>2</sup> /кг | 1010–1050                       | 450–470 | 130–140 | 640–680 | 600–640 | 740–780 |
| $\Delta m$ , %             | 79,0                            | 6,9     | 8,5     | 12,3    | 11,5    | 9,5     |
| $a_m$ , %                  | 421,1                           | 215,8   | 155,5   | 221,9   | 193,4   | 163,52  |

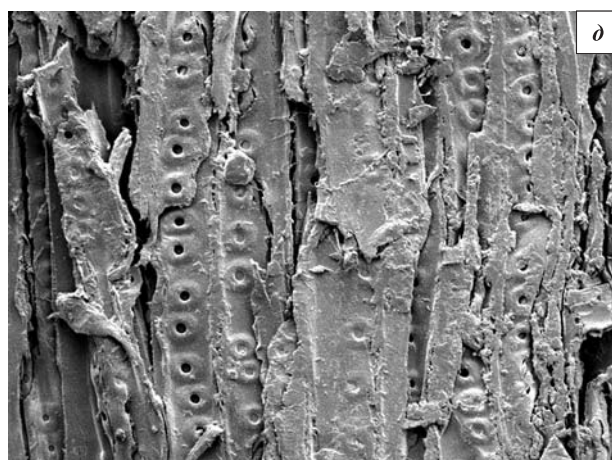
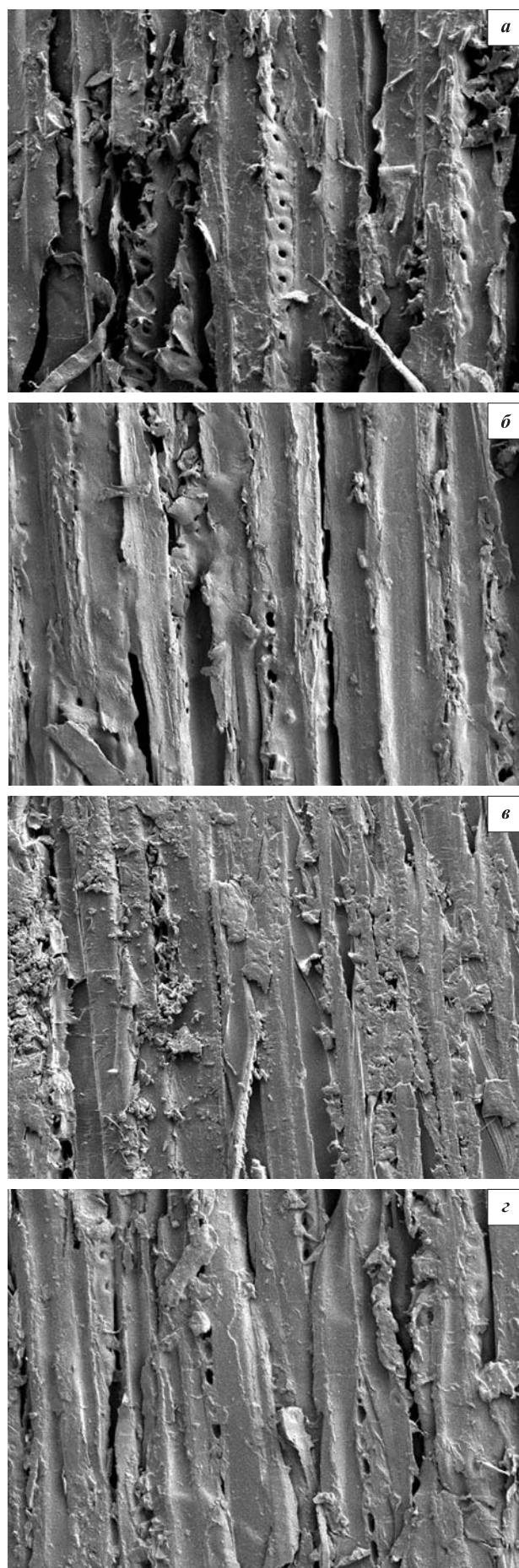


Рис. 3. Снимки поверхности древесины, модифицированной ДМФ (а), ДЭФ (б), ДПФ (в), ДБФ (г) и ДФФ (д), полученные методом электронной микроскопии

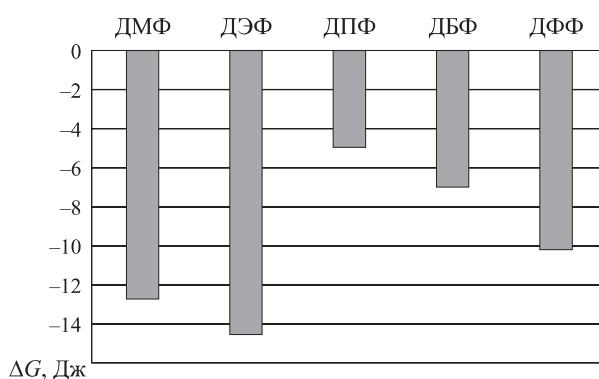


Рис. 4. Изменение изобарно-изотермического потенциала  $\Delta G$  поверхности модифицированной древесины

Как видно из рис. 4, все значения  $\Delta G$  ниже 0, что характеризует самопроизвольное протекание процесса поверхностного модифицирования в данных условиях. Наиболее отрицательные значения изменения изобарно-изотермического потенциала поверхности модифицированной древесины характерны для случая использования в качестве модификатора ДЭФ, который в большей степени вступает в химическое взаимодействие с лигноуглеводным комплексом. Термодинамические характеристики модифицирования зависят от степени химического взаимодействия подложки с модификатором.

### Выводы

При поверхностном модифицировании древесины 20 %-ными растворами эфиров фосфористой кислоты происходит самопроизвольное химическое взаимодействие фосфорсодержащих соединений с подложкой древесины. Наибольшая степень химического взаимодействия характерна для ДЭФ, наименьшая — для ДФФ. При этом при модифицировании древесины ДЭФ происходит выстилание

ее поверхности модификатором. Кроме того, на основании данных по удельной площади поверхности  $S_{уд}$  можно сделать вывод о химическом модифицировании внутренней части капилляров этим модификатором. Укрепление поверхности и капиллярной структуры при химическом модифицировании фосфорсодержащими соединениями приводит к снижению пожарной опасности и дымообразующей способности древесины.

Все полученные данные коррелируются с данными изменения изобарно-изотермического потенциала ( $\Delta G$ ). Наиболее низкие значения  $\Delta G$  харак-

теризуют поверхность древесных материалов с меньшими показателями пожарной опасности.

Таким образом, определен метод термодинамической оптимизации древесины в целях улучшения ее эксплуатационных характеристик, что позволит производить выбор наиболее эффективных модификаторов по величине  $\Delta G$ . Исходя из доступности данного метода можно говорить о его высокой практической значимости. Оценка эффективности других классов модификаторов на основе данного метода будет являться предметом дальнейших исследований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покровская Е. Н., Портнов Ф. А., Кобелев А. А., Корольченко Д. А. Дымообразующая способность и токсичность продуктов сгорания древесных материалов при поверхностном модифицировании элементоорганическими соединениями // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 10. — С. 40–45.
2. Стенин А. А. Улучшение свойств 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.
3. Шамаев В. А. Современное состояние и пути развития модифицированной древесины // Современные проблемы механической технологии древесины : материалы международной научно-практической конференции. — СПб., 2010. — С. 11–17.
4. Тарива Е. Ю. Влияние вида модификатора на физико-механические свойства древесины // Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии : сборник материалов VI Международной научно-технической конференции. — Тула, 2005. — С. 55–56.
5. Покровская Е. Н. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементоорганических соединений. — М. : Изд-во АСВ, 2009. — 136 с.
6. Покровская Е. Н. Химико-физические основы увеличения долговечности древесины. — М. : Изд-во АСВ, 2003. — 104 с.
7. Ролдугин В. И. Физико-химия поверхности : учебник-монография. — Долгопрудный : Изд. дом "Интеллект", 2011. — 564 с.
8. Tutygin A. S., Shinkaruk A. A., Aisenstadt A. M., Lesovik V. S. Ecological risks reduction in the production of concrete composites // Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety. — 2014. — Vol. 8. — P. 54–61.
9. Tutygin A. S., Shinkaruk A. A., Aisenstadt A. M., Frolova M. A., Pospelova T. A. Ways to increase and monitor bearing capacity of soils // Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety. — 2013. — Vol. 7, Part 1. — P. 37–45.
10. Айзенштадт А. М. Термодинамическая оптимизация состава нанокompозитов горных пород // Инновационные материалы и технологии для строительства в экстремальных климатических условиях : материалы I Всероссийской научно-технической конференции. — Архангельск : САФУ, 2014. — С. 37–44.
11. Дерягин Б. В., Абрикосова И. И., Лифшиц Е. М. Молекулярное притяжение конденсированных тел // Успехи физических наук. — 1958. — Т. LXIV, вып. 3. — С. 493–528.
12. Дерягин Б. Д., Чураев Н. В. Смачивающие пленки. — М. : Наука, 1984. — 60 с.
13. Практические методы в электронной микроскопии / Под ред. Одри М. Глоэра; пер. с англ. — Л. : Машиностроение, 1980. — 375 с.
14. Практическая растровая электронная микроскопия / Под ред. Дж. Гоулдстейна, Х. Яковица; пер. с англ. — М. : Мир, 1978. — 656 с.
15. Калинин Б. А. Растровая электронная микроскопия : лабораторная работа. — М. : МИФИ, 2008. — 56 с.
16. Абрамзон А. А., Боброва Л. Е., Зайченко Л. П. Поверхностные явления и поверхностно-активные вещества : справочник. — Л. : Химия, 1984. — 392 с.

17. Вячеславов А. С., Померанцева Е. А. Измерение площади поверхности и пористости методом капиллярной конденсации азота (подготовка магистров — операторов современного научного оборудования) : методическая разработка. — М. : МГУ им. М. В. Ломоносова, 2006. — 55 с.
18. Подкаменный Ю. А., Носенко А. А. Инновационный метод определения удельной поверхности дисперсных систем и пористых материалов // Молодежь и наука : сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска. — Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2013. — 3 с. URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s060/s060-017.pdf> (дата обращения: 01.03.2017).
19. Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники. — М. : Мир, 1984. — 592 с.
20. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / Пер. с англ.; 2-е изд. — М. : Мир, 1984. — 306 с.
21. Ruthven D. M. Principles of adsorption and adsorption processes. — New York etc. : John Wiley & Sons, 1984. — 443 p.

*Материал поступил в редакцию 21 марта 2017 г.*

**Для цитирования:** Покровская Е. Н., Портнов Ф. А. Термодинамическая оптимизация модификаторов поверхностного слоя древесины // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 5. — С. 29–36. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.29-36.

English

## THERMODYNAMIC OPTIMIZATION OF MODIFIERS OF THE SURFACE LAYER OF WOOD

**POKROVSKAYA E. N.**, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of Department of Complex Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: [elenapokrovskaya@bk.ru](mailto:elenapokrovskaya@bk.ru))

**PORTNOV F. A.**, Candidate of Technical Sciences, Assistant of Department of Complex Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

### ABSTRACT

A study is a modification of wood with phosphorous acid esters in order to reduce fire properties. It is known that phosphorus-containing modifiers are effective flame retardants for wood. Finding the best characteristics to evaluate effectiveness of modifiers is the most rational way to select modifiers, which reduce the fire properties of materials. A significant characteristic for evaluation of effectiveness of surface layer modifiers is a surface energy. To achieve the goal, the task was to study the change of energy characteristics of the modified wood surface and study of thermodynamic optimization of modifiers, which reduce the fire properties of materials. The thermodynamic parameters of the modified wood surface were determined on the basis of which it is possible to select the modifiers of the surface layer for wood. The change of the isothermal-isobaric ensemble of the modified surface was calculated on the basis of the combined equations I and II of the laws of thermodynamics using the “neutral drop” method. The largest values of surface energy are characteristic for wood, which modified by compounds entering into effective chemical interaction with wood. The degree of chemical interaction of the modifiers with wood was studied by the elemental analysis. High values of surface energy are substantiated when studying the structure of the surface and the surface layer of modified wood. The structure of the surface of the wood was studied by electron microscopy. The capillary structure of wood was studied by the method of sorption of water vapor. It is shown that with a high degree of interaction of the modifier with wood, the surface porous layer of wood is strengthened and structured and the pore size is reduced. As a result, there is a reduction in fire hazard and smoke generation ability. The most effective modifier is DEF, which provides the I group of flame retardant efficiency and reduces the smoke generation ability by 6 times. The possibility of the thermodynamic optimization of modifiers to create flame retardants was shown.

The most effective modifiers providing high fire resistance of wood are characterized by the most negative values of the isothermal-isobaric ensemble change.

**Keywords:** wood; modification; thermodynamics; surface layer; organophosphorus compounds; optimization.

## REFERENCES

1. Pokrovskaya E. N., Portnov F. A., Kobelev A. A., Korolchenko D. A. The smoke generation property and combustion products toxicity of wood which was modified by organoelemental compounds. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 10, pp. 40–45 (in Russian).
2. 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 uchennykh* [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).
3. Shamaev V. A. Current state and ways of development of modified wood. In: *Sovremennyye problemy mekhanicheskoy tekhnologii drevesiny. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Modern Problems of the Mechanical Wood Technology. Proceedings of International Scientific and Practical Conference]. Saint Petersburg, 2010, pp. 11–17 (in Russian).
4. Tariva E. Yu. Influence of the type of modifier on the physical and mechanical properties of wood. In: *Aktualnyye problemy stroitelstva i stroitel'noy industrii. Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Actual Problems of Construction and Construction Industry. Proceedings of VI International Scientific and Technical Conference]. Tula, 2005, pp. 55–56 (in Russian).
5. Pokrovskaya E. N. *Sokhraneniye pamyatnikov derevyannogo zodchestva s pomoshchyu elementoorganicheskikh soyedineniy* [Preservation of monuments of wooden architecture with the help of organoelement compounds]. Moscow, ASV Publ., 2009. 136 p. (in Russian).
6. 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).
7. Roldugin V. I. *Fiziko-khimiya poverkhnosti* [Physicochemistry of the surface]. Dolgoprudnyy, Intellect Publ., 2011. 564 p. (in Russian).
8. Tutugin A. S., Shinkaruk A. A., Aisenstadt A. M., Lesovik V. S. Ecological risks reduction in the production of concrete composites. *Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety*, 2014, vol. 8, pp. 54–61.
9. Tutugin A. S., Shinkaruk A. A., Aisenstadt A. M., Frolova M. A., Pospelova T. A. Ways to increase and monitor bearing capacity of soils. *Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety*, 2013, vol. 7, part 1, pp. 37–45.
10. Ayzenshtadt A. M. Thermodynamic optimization of the composition of rocks nanocomposites. In: *Innovatsionnyye materialy i tekhnologii dlya stroitelstva v ekstremal'nykh klimaticheskikh usloviyakh. Materialy I Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Innovative Materials and Technologies for building industry in extreme climate. Proceedings of I All-Russian International Scientific and Technical Conference]. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University Publ., 2014, pp. 37–44 (in Russian).
11. Deryagin B. V., Abrikosova I. I., Lifshits E. M. Molecular attraction of condensed bodies. *Uspekhi fizicheskikh nauk / Advances in Physical Sciences*, 1958, vol. LXIV, no. 3, pp. 493–528 (in Russian).
12. Deryagin B. V., Churaev N. V. *Smachivayushchiye plenki* [Wetting membranes]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 60 p. (in Russian).
13. Glauert A. M. (ed.). *Practical methods in electron microscopy*, vol. 2. New York, American Elsevier Publ. Co., Inc., 1974. (Russ. ed.: Glauert A. M. (ed.). *Prakticheskiye metody v elektronnoy mikroskopii*. Leningrad, Mashinostroyeniye Publ., 1980. 375 p.).
14. 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 (Russ. ed.: Goldstein J. I., Yakowitz H. (eds.). *Prakticheskaya rastrovaya elektron'naya mikroskopiya*. Moscow, Mir Publ., 1978. 656 p.).
15. Kalin B. A. *Rastrovaya elektron'naya mikroskopiya. Laboratornaya rabota* [Raster electron microscopy. Laboratory work]. Moscow, MIFI Publ., 2008. 56 p. (in Russian).
16. Abramzon A. A., Bobrova L. E., Zaychenko L. P. *Poverkhnostnyye yavleniya i poverkhnostno-aktivnyye veshchestva. Spravochnik* [Surface phenomena and surface-active substances. Handbook]. Leningrad, Khimiya Publ., 1984. 392 p. (in Russian).

17. Vyacheslavov A. S., Pomerantseva E. A. *Izmereniye ploshchadi poverkhnosti i poristosti metodom kapillyarnoy kondensatsii azota (podgotovka magistrrov — operatorov sovremennogo nauchnogo oborudovaniya): metodicheskaya razrabotka* [Measurement of surface area and porosity by the method of capillary nitrogen condensation (preparation of masters — operators of modern scientific equipment). Methodological development]. Moscow, Moscow State University by M. V. Lomonosov Publ., 2006. 55 p. (in Russian).
18. Podkamenny Yu. A., Nosenko A. A. Innovative method for determining the specific surface area of disperse systems and porous materials. In: *Molodezh i nauka. Sbornik materialov IX Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennoy 385-letiyu so dnya osnovaniya Krasnoyarska* [All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists with International Participation, Dedicated to the 385<sup>th</sup> Anniversary of the Founding of Krasnoyarsk]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2013. 3 p. (in Russian). Available at: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s060/s060-017.pdf> (Accessed 1 March 2017).
19. Keltsev N. V. *Osnovy adsorbtsionnoy tekhniki* [Basics of adsorption technique]. Moscow, Mir Publ., 1984. 592 p. (in Russian).
20. Gregg S. J., Sing K. S. W. *Adsorption, surface area and porosity*. 2<sup>nd</sup> ed. London – New York, Academic Press, 1982. 304 p. (Russ. ed.: Gregg S., Sing K. Adsorbtsiya, udelnaya poverkhnost, poristost. Moscow, Mir Publ. 1984. 306 p.).
21. Ruthven D. M. *Principles of adsorption and adsorption processes*. New York etc., John Wiley & Sons, 1984. 443 p.

**For citation:** Pokrovskaya E. N., Portnov F. A. Thermodynamic optimization of modifiers of the surface layer of wood. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 5, pp. 29–36 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.29-36.



## Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу



### Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко ДЕЛЕНИЕ ЗДАНИЙ НА ПОЖАРНЫЕ ОТСЕКИ : учебное пособие.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА", 2014. — 40 с. : ил.

В учебном пособии изложены базовые основы, действующие требования и современные представления о целях, задачах и способах ограничения распространения пожара по зданиям и сооружениям путем их разделения на пожарные отсеки.

Пособие предназначено для студентов Московского государственного строительного университета. Оно может быть использовано также другими образовательными учреждениями и практическими работниками, занимающимися вопросами обеспечения пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: [info@fire-smi.ru](mailto:info@fire-smi.ru)