

# ОГНЕЗАЩИТНЫЕ ВСПУЧИВАЮЩИЕСЯ СОСТАВЫ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ

к.х.н. А.В. Павлович, В.В. Владенков, В.Н. Изюмский, С.Л. Кильчицкая  
Смоленский лакокрасочный завод

**Серьезным недостатком древесины, ограничивающим ее конструктивное использование в строительстве, является повышенная горючесть, обусловленная органической природой этого материала. Одним из наиболее перспективных и эффективных методов повышения огнестойкости древесных материалов в настоящее время является применение вспучивающихся огнезащитных составов.**

Традиционно огнезащита древесины осуществляется с использованием различных материалов [1–3], прежде всего водных пропиточных составов на основе антипиренов, обмазок, паст, а также специальных ЛКМ. Среди последних все большее значение приобретают материалы интумесцентного типа, образующие вспучивающиеся огнезащитные покрытия (ОВП). Это обусловлено их высокой огнезащитной эффективностью, хорошими декоративными свойствами, отсутствием вредных выбросов при воздействии пламени, относительно невысокой стоимостью и др.

Ранее [4] нами были рассмотрены главные достоинства и свойства покрытий огневспучивающегося типа. Настоящая статья посвящена особенностям ОВП для древесины.

Огнезащитная эффективность ОВП для изделий из древесины оценивается согласно требованиям и нормам, изложенным в НПБ 251–98 «Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний». В соответствии с этим документом испытания образцов с нанесенными на них покрытиями проводятся на установке типа «керамическая труба» при воздействии пламени газовой горелки в течение двух минут. После огневых испытаний оценивают потерю массы образцов. Согласно этому показателю устанавливается группа огнезащитной эффективности испытанного покрытия:

I группа — потеря массы не более 9 %;

II группа — потеря массы более 9, но не выше 25 %.

При потере массы более 25 % считается, что покрытие не обеспечивает огнезащиту древесины и не является огнезащитным.

Для более глубокого понимания рассматриваемой проблемы проанализируем прежде всего главные особенности горения древесины. Этот процесс по мере повышения температуры можно представить следующим образом [5, 6]:

- при температуре ниже 100 °С происходит высушивание древесины в результате удаления паров воды. Древесина сохраняет максимальную температуру 100 °С до полной дегидратации, даже если источник тепла имеет более высокую температуру;
- при 100–270 °С происходит возгонка древесины. Первая стадия возгонки (пиролиза) древесины — выделение газов — начинается при 150 °С;
- при 270–350 °С интенсифицируется выделение газов (оксида углерода и углеводородов, сгорающих с выделением тепла 250–300 ккал/кг). В результате интенсивного газовыделения образуется пламя, поэтому эту стадию называют «живое горение»;
- при 350–500 °С происходит выделение большого количества сгорающих газов, образуется древесный уголь, который также начинает гореть;
- при 500–800 °С газовыделение замедляется и «живое горение» затухает. Древесный уголь полностью сгорает при 800 °С.

Таким образом, процесс горения древесины является сложным, многостадийным и протекает в широком интервале температур. Вместе с тем необходимо особо подчеркнуть, что в плане пожароопасности наиболее ответственной стадией является термическое разложение древесины (пиролиз), сопровождающееся выделением различных горючих продуктов, способных в определенных условиях к пламенному возгоранию.

Сведения о горении древесины служат также базой для специалистов при выборе компонентов интумесцентной системы ОВП. В таблице приведены некоторые физико-химические свойства основных компонентов огневспучивающихся систем, включая их температуры разложения [7].

## Физико-химические свойства компонентов ОВП

| Компонент  | Растворимость в воде | Температура разложения, °С | pH раствора (суспензии) |
|--|----------------------|----------------------------|-------------------------|
| <b>Фосфаты</b>   |                      |                            |                         |
| Дигидрофосфат аммония $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ | Растворим            | 147                        | 3–4                     |
| Гидрофосфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$        | -«-                  | 87–147                     | 8–9                     |
| Фосфат мочевины  | -«-                  | 130                        | 9–10                    |
| Полифосфат аммония (ПФА)                                 | Нерастворим          | 240                        | 6–7                     |
| <b>Вспенивающиеся агенты</b>                             |                      |                            |                         |
| Мочевина   | Растворима           | 130                        | 8–9                     |
| Тиомочевина  | Малорастворима       | 96                         | 6–7                     |
| Дициандиамид   | Малорастворим        | 180                        | 7–8                     |
| Меламин  | Нерастворим          | 300                        | 7–8                     |
| <b>Карбонизирующиеся вещества</b>                        |                      |                            |                         |
| Крахмал  | Растворим            | 140                        | 7,0                     |
| Сорбит   | -«-                  | 110                        | 6–7                     |
| Пентаэритрит   | Малорастворим        | 263,5                      | 6–7                     |
| <b>Галогенсодержащие вещества</b>                        |                      |                            |                         |
| Хлорированные парафины                                   | Нерастворим          | 160–350                    | 5–6                     |
| Хлорсодержащие полимеры                                  | Нерастворимы         | 140                        | 5–6                     |

Из сопоставления представленных данных с параметрами горения древесины следует, что оптимальными компонентами интумесцентных материалов для древесины являются ПФА, меламин и пентаэритрит, разлагающиеся при температуре пиролиза древесины. Это подтверждается и имеющимися литературными данными, включая патентные. Известны также и некоторые другие варианты формирования состава ОВП, которые согласуются с рассматриваемым подходом к выбору компонентов. Следовательно, ОВП для древесины являются типичными представителями огнезащитных покрытий интумесцентного типа, для которых характерны общие закономерности и свойства материалов этого класса. Древесина как защищаемая подложка вносит лишь некоторую корректировку при составлении рецептур таких составов. Проанализируем с этой точки зрения данные литературных источников.

Проведенное исследование ОВП для древесины на основе дисперсии поливинилацетата (ПВА), гидроксида алюминия, фосфата аммония, органического амида и полиола показало, что эта композиция обладает наиболее высокой огнезащитной эффективностью только при одновременном присутствии в ее составе трех последних компонентов [8]. Их отсутствие приводит к ухудшению огнезащитных свойств покрытия. Определен интервал концентраций для соотношения компонентов полиол : (дисперсия ПВА+фосфат аммония+гидроксид алюминия) : органический амид, изменения в пределах которого практически не сказываются на потере массы древесины при огневых испытаниях по ГОСТ 16363–98.

Разработаны два интумесцентных состава для древесины на основе водорастворимой мочевиноформальдегидной (или мочевиномеламиноформальдегид-

ной) смолы, ПФА, пентаэритрита, *n*-трет-бутилфенол-формальдегидной смолы, меламин (или цианурата меламин) и каолина [9, 10]. В первый состав для повышения эксплуатационных свойств покрытий (снижение водопоглощения, увеличение адгезии, огнезащитной эффективности и долговечности) в композицию вводят дополнительно циануровую кислоту, аммелин и аммелид. Указанные компоненты совместно с меламином в присутствии полифосфата аммония на отдельной стадии процесса при повышенной температуре (300–360 °С) превращают в мелем и производные триазина, которые и обеспечивают достижение положительного эффекта. Во втором составе улучшение огнезащитных свойств покрытий и снижение расхода материала при нанесении достигается дополнительным введением одного из следующих веществ: фторида аммония, тетрафторбората аммония, смеси фторида и бифторида аммония.

Помимо повышения огнезащитной эффективности, эти компоненты также придают ОВП высокие антисептические свойства.

С учетом того, что древесина подвергается также биологическому разрушению, в последние годы наметилась тенденция по разработке составов ОВП, сочетающих огне- и биоцидные свойства. Описанная выше огнезащитная композиция является типичным представителем ОВП данного вида. Другим примером ОВП, обеспечивающего комплексную защиту древесины, служит водно-дисперсионный интумесцентный состав «Эндотерм 250103» (ТУ У 13481691.005–2001), модифицированный добавками биоцида на основе 4-нитрофенолятного производного меди. Оптимальное содержание биоцидной добавки в композиции, обеспечива-

ющее достаточную антигрибковую защиту, составляет 0,1–0,5 % [11].

Огневспучивающаяся водно-дисперсионная композиция, согласно данным патентного описания [12], содержит 2–4 % фунгицидной добавки на основе алкилдиметилбензиламмонийхлорида, а другие огнезащитные материалы, разработанные теми же авторами [13, 14], содержат и фунгицидные, и инсектицидные препараты.

Введение в интумесцентные составы для древесины в качестве наполнителей различных антипиренов является одним из возможных путей повышения огнезащитной эффективности ОВП. Исследования, проведенные в этом направлении [15], показали, что с учетом описанной выше специфики горения древесины положительный эффект в составе ОВП на основе органо- и водорастворимых полимеров проявляют только те соединения, которые содержат в своей структуре сорбированную или кристаллизационную воду: борат цинка ( $3 \text{ ZnO} \cdot 3 \text{ B}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), цеолит марки NaX, тригидрат оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{ H}_2\text{O}$ ). Кроме того, определенное положительное действие на огнезащитную эффективность вспучивающихся покрытий оказывают соединения, способные разлагаться при высокой температуре с выделением газов ( $\text{CaCO}_3$ ), а также образовывать между собой синергетические смеси (например,  $\text{Sb}_2\text{O}_5 + \text{MgCl}_2$ , борат цинка + гидроксид алюминия). Нецелесообразно применять во вспучивающихся огнезащитных составах безводные оксиды металлов и их соли ( $\text{ZnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , фосфат цинка). Они являются балластом композиций и не улучшают их огнезащитное действие. Основной причиной отсутствия положительного эффекта от указанных неорганических антипиренов является существенное снижение в их присутствии коэффициента вспучивания покрытий.

С указанными результатами согласуются также данные патентных описаний [16, 17]. В первом изобретении в составе ОВП для древесины используется тетраборат натрия, во втором — заметное улучшение огнезащитных свойств вспучивающихся покрытий достигается за счет введения в их состав солей, содержащих кристаллизационную воду. К таким компонентам относятся:

- ☼  $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{ H}_2\text{O}$ ;
- ☼  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$ ;
- ☼  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{ H}_2\text{O}$ ;
- ☼  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{ H}_2\text{O}$ ;
- ☼  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$ ;
- ☼  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$ ;
- ☼  $\text{MgHPO}_4 \cdot 3 \text{ H}_2\text{O}$ .

Эти соединения обуславливают повышение коэффициента вспучивания покрытий и уменьшение температуры начала их вспенивания.

Известно [4], что одним из недостатков ОВП на основе водных дисперсий полимеров является низкая водостойкость покрытий, приводящая со временем к потере

их огнезащитных свойств, особенно при эксплуатации в условиях высокой влажности. В этой связи было изучено [8], насколько эффективно различные водные дисперсии полимеров в одинаковых экспериментальных условиях обеспечивают удерживание в составе ОВП для древесины водорастворимых компонентов интумесцентной системы, в частности фосфата аммония. Для этого в исследуемых образцах определяли содержание фосфора до и после их выдержки в воде в течение определенного времени. Найдено, что из 13 исследованных водных полимерных дисперсий (ПВА, полиакрилат, бутадиен-стирольные, стирол-акриловые, винилацетат-винилверсататные сополимеры и др.) наилучший результат по сохранности фосфорсодержащего компонента в составе огнезащитного материала показало покрытие на основе дисперсия ПВА компании Finndisp марки HW.

Одним из возможных путей улучшения водостойкости пеногенных покрытий, полученных на основе водно-дисперсионных композиций, является использование в их рецептурах вместо ПФА амида полифосфата (АП), который имеет гораздо более низкую растворимость в воде, чем ПФА. ОВП, содержащие в своем составе АП, практически не меняют огнезащитные свойства после выдержки образцов окрашенной ими фанеры в горячей воде (70 °С) в течение 2 ч [18].

Тем не менее производители вспучивающихся покрытий на основе композиций как органо-, так и водорастворимого типа для длительного сохранения эксплуатационных свойств материалов рекомендуют наносить на ОВП дополнительные защитные слои лаков или эмалей, предохраняющих от воздействия влаги и агрессивной атмосферы.

Еще одной разновидностью ОВП для древесины являются композиции, содержащие вспучивающийся графит (ВГ). Разработано пеногенное покрытие с интумесцентной системой, включающей ПФА, меламин и ВГ [19]. С учетом того, что при нагревании графит расширяется с выделением различных токсичных продуктов (пары серной и/или азотной кислот, оксиды азота,  $\text{SO}_2$  и др.), в рецептуру огнезащитной композиции введены дополнительно вещества ( $\text{CaO}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), поглощающие эти выбросы по реакциям:

- ☼  $\text{NaHCO}_3 + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CO}_2\uparrow + \frac{1}{2}\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- ☼  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SO}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2\uparrow$
- ☼  $\text{CaO} + \text{SO}_2 + \text{NO} = \text{CaSO}_4 + \frac{1}{2}\text{N}_2\uparrow$
- ☼  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$
- ☼  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$

В качестве пленкообразователя для ОВП предложено использовать водную дисперсию сополимера на основе фосфорсодержащих и акриловых мономеров (метилметакрилат, бутилакрилат, акриловая кислота и др.), а в некоторых случаях — стирола [20]. Фосфорсодержащие мономеры представлены двумя видами:

- ☼  $\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CO}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OP}(\text{O})(\text{OH})_2$
- ☼  $[\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CO}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}]_2\text{P}(\text{O})(\text{OH})_2$ .

Пленка, образованная водной дисперсией нового сополимера, после высыхания проявляет свойства самозатухания. Данный пленкообразователь рекомендуется использовать в различных огнезащитных материалах, включая ОВП для древесины.

Одним из направлений в разработке вспучивающихся составов для древесины является их удешевление при сохранении высокой огнезащитной эффективности. В частности, в интумесцентной составляющей композиции вместо дорогостоящего ПФА предложено использовать дешевый моноаммонийфосфат (МФ), который имеет высокую растворимость в воде [21]. Авторы изобретения скорректировали рецептуру пеногенного материала и способ его изготовления следующим образом. При получении огнезащитной композиции МФ взаимодействует с меламинам и фосфорной кислотой с образованием продукта, обеспечивающего ОВП высокую водостойкость, устойчивость к воздействию воздушных потоков и снижение себестоимости.

В качестве катализатора пенообразования в составе ОВП для древесины используют сернокислые соли марганца, меди и магния [22].

Помимо традиционных рецептур ОВП на основе красок для огнезащиты древесины применяют также и другие составы интумесцентного типа, например вспучивающиеся лаки. Покрытия на их основе сохраняют внешний вид древесины и обладают высокими декоративными свойствами.

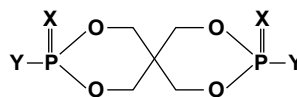
В рецептуры таких лаков, кроме пленкообразователей, входят в той или иной форме традиционные компоненты вспучивающейся системы: источник неорганической кислоты (обычно фосфорной), карбонизирующий агент, пенообразователь. Однако при разработке рецептуры этих композиций часто возникают определенные трудности. Так, при неправильном выборе ингредиентов лаковые пленки плохо вспучиваются, а сами исходные материалы могут опалесцировать и иметь низкую прозрачность из-за различных коэффициентов преломления пленкообразователя и твердых компонентов, что также не позволяет получать прозрачные и яркие покрытия. Например, в присутствии меламина некоторые лаковые покрытия полностью теряют прозрачность, поэтому в рецептурах таких лаков чаще используют жидкие меламиновые смолы в сочетании с хлорированными парафинами, одновременно играющими роль пластификаторов. Прозрачность лаковых пленок теряется также и при использовании низкомолекулярного ПФА.

Учитывая, что одной из стадий механизма вспучивания огнезащитных покрытий является взаимодействие при температуре выше 200 °С фосфорной кислоты с полиолом (карбонизирующимся соединением) с образованием в качестве промежуточного продукта сложного эфира, в рецептуре лаковой интумесцентной композиции в качестве исходного компонента предложено применять предварительно полученный реакционноспособный эфир фосфорной кислоты [5]. Он выпускается под торговой маркой Budit 380 и имеет следующие характеристики:

|   |
|---|
| массовое содержание активного вещества, % .. 80 |
| pH 1 %-ного раствора .....                      |
| кислотное число, мг KOH/г .....                 |
| плотность, г/мл .....                           |

Указанный сложный эфир (компонент А) в сочетании с кислотоотверждаемыми меламино-, мочевино-, фенолформальдегидными смолами (компонент Б) образует двухкомпонентный водорастворимый огнезащитный лак по древесине.

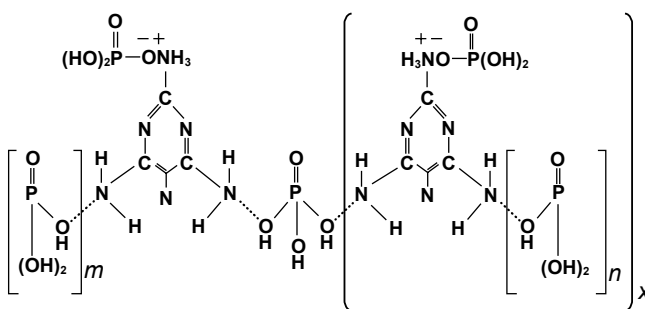
Целесообразность использования в составах ОВП комплексного антипирена — сложных эфиров фосфорной кислоты с карбонизирующимся соединением — вместо смеси этих же компонентов в индивидуальном виде (источник фосфорной кислоты + полиол) давно обсуждается в литературе [23, 24]. Хорошо известны, в частности, циклические сложные эфиры пентаэритрита с производными фосфорной кислоты [25]:



где X — кислород; Y — алкоксил, галогенированный алкоксил и др., а также R<sub>2</sub>N-группа, в которой R — водород, алкил, галогенированный алкил и др.

Главным преимуществом применения в рецептурах пеногенных покрытий сложных эфиров является, как правило, расширение рабочего температурного интервала формирования пенококса в более низкотемпературную область [5, 26].

Другими разновидностями комплексных антипиренов, сочетающих в своем составе различные специальные компоненты вспучивающихся систем ОВП, являются, например, фосфат гуанидина [27], полифосфат меламина [28], фосфат меламина [27] и его модификация, содержащая связанную водородными связями ортофосфорную кислоту [29]:



где  $m$ -,  $n$ -,  $x$  — 0 или 1.

Указанный продукт представляет собой порошок белого цвета, плохо растворимый в воде, плавящийся с разложением при температуре 278–386 °С. Он используется в качестве антипирена для огнезащиты древесностружечных плит.

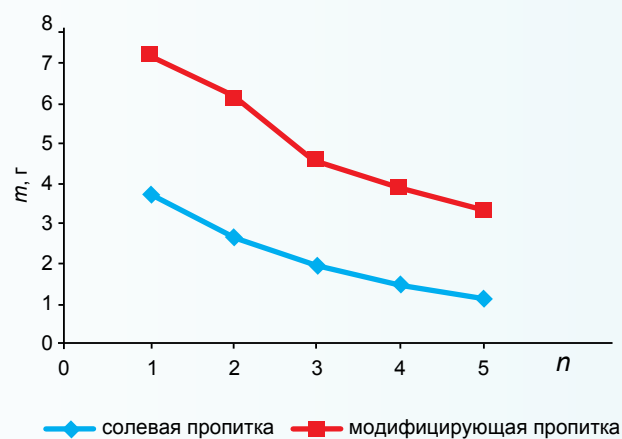
В последние годы начаты разработки новых модифицирующих пропиток интумесцентного типа на основе водных растворов органических и неорганических

веществ, включающих фосфор- и азотсодержащие антипирены. Эти композиции отличаются от упомянутых в начале статьи традиционных пропиточных составов антипиренов как процессом проникновения в объем древесины, так и механизмом огнезащитного действия [2]. При нанесении на поверхность такая пропитка проникает в поверхностные слои древесины и вступает в реакцию фосфорилирования с лигнином и целлюлозой. В результате образуются нерастворимые в воде и невымываемые из древесины фосфорсодержащие полимерные соединения, представляющие собой полноценную интумесцентную систему, в состав которой входят карбонизирующее вещество (гидроксилсодержащие соединения, входящие в состав древесины), донор кислоты (производные фосфорной кислоты), газообразователь (полиамин, присутствующий в составе пропитки). При воздействии пламени такой огнезащитный состав вспучивается и образует на поверхности негорючий коксовый слой, предохраняющий древесину от возгорания и распространения огня. Таким образом, огнезащитное действие модифицирующей пропитки сочетает эндотермические эффекты интумесцентной системы, ингибирование пиролиза древесины антипиренами и теплоизоляцию древесины за счет образования вспученного слоя.

По нашему мнению, фосфорилирование целлюлозы в обработанной модифицирующей пропиткой древесины может происходить также и при воздействии теплового потока в условиях пожара. Повышенная температура будет только способствовать протеканию указанной реакции. Более того, если фосфорилирование целлюлозы не происходит при нанесении и впитывании реагента в древесину при нормальных условиях, то создаются все потенциальные предпосылки для образования интумесцентной системы в защищаемом древесном материале. Все специальные компоненты, включая целлюлозу (карбонизирующийся агент), находятся в непосредственном контакте друг с другом.

В этой связи следует отметить, что разработка полимеров, сочетающих в одной молекуле функции пленкообразователя, кислотного катализатора, карбонизирующего вещества и вспучивающегося агента, содержащихся обычно в традиционной вспучивающейся композиции, является одной из последних тенденций в разработке интумесцентных составов. Такие универсальные высокомолекулярные соединения называют «самостоятельно вспучивающимися полимерами» (Intrinsically Intumescent Polymers, IIP). Если оценивать эффективность огнезащиты традиционными вспучивающимися покрытиями и материалами на основе IIP по потере массы, определяемой при нагревании интумесцентных материалов, то композиции на основе IIP при их превращении в пенококс оказываются на 40 % более эффективными, чем традиционные материалы. Поскольку действие IIP начинается при температуре ниже 150 °С, то они обеспечивают защиту от воздействия огня на более ранних стадиях огневого режима, чем ОВП классического типа [26].

К несомненным преимуществам модифицирующих пропиточных растворов следует отнести и их более легкое проникновение в структуру древесины по сравнению с обычными солевыми пропитками. Это объясняется тем, что при фосфорилировании лигнина и целлюлозы происходит обезвоживание поверхностных слоев древесины, что приводит к расширению капилляров и увеличению глубины проникновения пропиточного раствора (см. рисунок) [2].



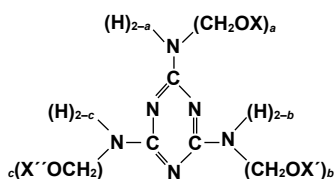
Зависимость количества пропиточного раствора (m) от количества проходов (n) кистью при нанесении на древесину

Близким по химической сущности к описанным модифицирующим пропиткам является запатентованный водный состав антипирена для древесины на основе алюмохромфосфата, неионогенного ПАВ и специального полиамина, нейтрализованного ортофосфорной кислотой [30]. В процессе отверждения этой композиции формируются надмолекулярные структуры, склонные к вспучиванию при повышенной температуре. Так, при нанесении огнезащитного состава на поверхность древесины протекает химическое взаимодействие фосфатных групп реагента с функциональными группами компонентов древесины, обеспечивающее огнестойкость последней. Благодаря указанной обработке целлюлоза, лигнин и другие высокомолекулярные составляющие древесины легко карбонизируются в условиях воздействия пламени и препятствуют развитию горения незащищенной древесины.

Достоинством данного антипирена (модифицирующей пропитки) является то, что он относится к огнезащитным составам вспучивающегося типа. При повышенной температуре из композиции выделяются низкомолекулярные газообразные вещества, причем данный процесс сопровождается интенсивным порообразованием и подъемом огнезащитного слоя, препятствующего воздействию открытого пламени и теплового потока на верхние слои древесины.

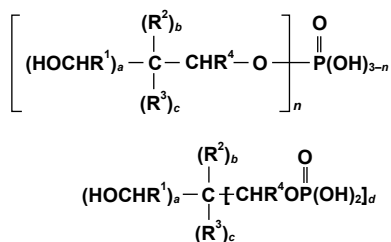
Примерами водных пропиток вспучивающегося типа являются также композиции, содержащие интумесцентные системы на основе циклического азотсодержащего соединения, гидроксилсодержащего фосфорорга-

нического соединения (ГФС) и фосфорной (или органофосфорной) кислоты [31–34]. Первое из указанных веществ является производным меламина:



где  $a, b, c$  — целые числа 0 или 1;  $a + b + c = 0-6$ ;  $X, X'$ ,  $X''$  — водород и  $-CH_3$ .

Одними из представителей ГФС служат соединения:



где  $a, b, c, d$  — целые числа 1–3;  $b$  и  $c = 0$  или 1;  $d$  и  $n = 1$  или 2;  $R^1$  и  $R^4$  — водород, алкил  $C_1-C_4$ , галогенированный алкил  $C_1-C_4$  с одним или двумя атомами галогена;  $R^2$  и  $R^3$  — галогенированный алкил  $C_1-C_4$  с одним или двумя атомами галогена (хлор и/или бром).

По мнению авторов [35], идеальный огнезащитный материал для древесины должен соответствовать следующим требованиям:

- иметь высокую огнезащитную эффективность;
- обладать высокой химической стабильностью в нормальных условиях эксплуатации;
- не разрушать древесину;
- обладать устойчивостью к механическим деформациям (растяжение, сжатие и др.);
- не выделять токсичных продуктов при воздействии пламени и высоких температур;
- обладать фунгицидным и инсектицидным действием;
- быть устойчивыми к воздействию влаги и УФ-излучения;
- иметь относительно невысокую стоимость.

Практически всеми отмеченными выше преимуществами обладают огнезащитные вспучивающиеся составы для древесины, рассмотренные в этой статье.

Таким образом, в настоящее время для огнезащиты древесины наиболее широкое распространение получили разнообразные композиционные материалы интумесцентного типа, характеризующиеся повышенной эффективностью.

### Литература

1. **Войтович В.А.** Лакокрасоч. пром-сть. 2008. № 11. С. 10–14.
2. **Вахитова Л. Н.** Технологии безопасности и противопожарной защиты. 2009. № 6. С. 58–61.

3. **Корольченко А.Я., Петрова Е.А.** Рос. хим. ж. 2003. Т. XLVII, № 4. С. 49–54.
4. **Павлович А.В. и др.** Лакокрасоч. пром-сть. 2012. № 5. С. 22–27.
5. **Futterer T., Nagerl H-D., Tortosa E. et al.** Пром. окраска. 2004. № 3. С. 9–11.
6. **Ковернинский И.Н.** Основы технологии химической переработки древесины. М.: Лесная пром-сть, 1984. 154 с.
7. **Дмитриева Ю.Н.** ЛКМ и их применение. 2006. № 12. С. 16–19.
8. **Лулева Н.К., Петровская Л.И.** ЖПХ. 2008. Т. 81, вып. 4. С. 667–671.
9. Пат. 2065463 RU.
10. Пат. 2119516 RU.
11. **Родыгин М.Ю., Калафат К.В., Назаркевич В.В. и др.** Пром. окраска. 2004. № 5. С. 30–35.
12. Пат. 7482395 US.
13. Заявка 2008/0054230 US.
14. Заявка 2010/0069488 US.
15. **Лапушкин М.П., Фещенко П.А., Вахитов Р.А.** ЛКМ и их применение. 2007. № 1–2. С. 48–54.
16. Пат. 2174527 RU.
17. Пат. 4166743 US.
18. Пат. 3969291 US.
19. Пат. 5968669 US.
20. Заявка 2007/0145338 US.
21. Пат. 5225464 US.
22. Пат. 2224775 RU.
23. **Зубкова Н.С., Антонов Ю.С.** Рос. хим. ж. 2002. Т. XLVI, № 1. С. 96–102.
24. **Weil E.D.** Journal of Fire Sciences. 2011. V. 29, № 3. P. 259–296.
25. Пат. 4099975 US.
26. Пат. 2370503 RU.
27. Пат. 6054513 US.
28. Пат. 2382055 RU.
29. Пат. 4080501 US.
30. Пат. 2277046 RU.
31. Пат. 4201677 US.
32. Пат. 4221837 US.
33. Пат. 4339357 US.
34. Пат. 4345002 US.
35. **Kozłowski R., Władyka-Przybylak M.** Fire retardant materials/ Ed. by Horrocks A. and Price D. Cambridge: CRS Press and Woodhead Publishing Ltd. 2001. P. 293–317.