

О.В. Арцыбашева, М.В. Гарбуз, Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков
(Академия Государственной противопожарной службы МЧС России;
e-mail: alekseyenkova.olga@yandex.ru)

О ПОВЫШЕНИИ ОГНЕЗАЩИТЫ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АНТИПИРЕНОВ

Представлены результаты исследования эффективности огнезащитных составов на основе щелочных соединений для деревянных конструкций. Экспериментально подтверждена возможность снижения дымообразования и токсичности продуктов горения древесины при использовании антипиренов.

Ключевые слова: деревянные конструкции, антипирены, токсичность продуктов горения, огнезащита.

O.V. Arcybasheva, M.V. Garbuz, B.B. Serkov, A.B. Sivenkov ABOUT INCREASING THE FIRE RESISTANCE OF WOODEN STRUCTURES WHILE USING FLAME RETARDANTS

The research results of efficiency of flame retardants based on alkaline compounds for wood constructions are presented. Possibility of reducing the smoke and toxicity of combustion products of wood using fire retardants, was experimentally confirmed.

Key words: wooden structures, fire retardants, toxicity of the combustion products, fire protection.

Строительство зданий и сооружений с применением конструкций из древесины остается одним из наиболее популярных и востребованных в мировой практике домостроения. Отличительными эксплуатационными признаками объектов с применением деревянных конструкций являются долговечность, эстетический внешний вид и значительное энергосбережение.

Ну а поскольку материалы и конструкции на основе древесины являются горючими, то их огнезащита требует постоянного совершенствования. Основными традиционными направлениями обеспечения их огнезащиты являются: различные способы пропитки антипиренами, нанесение на защищаемую поверхность огнезащитных покрытий, а также применение конструктивной огнезащиты.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования была взята древесина хвойных (ель, сосна) и лиственных разновидностей (дуб, береза), произрастающих на территории Вологодской области.

В качестве веществ и соединений, использованных для разработки огнезащитных составов для древесины, были выбраны полифункциональные соединения, представляющие собой бесцветные кристаллические вещества, легко растворимые в воде, эфире, глицерине, спирте [1].

В качестве катализаторов процесса модифицирования древесины были использованы гидроксиды щелочных металлов, такие как калия гидроксид (KOH), натрия гидроксид (NaOH), а также такие "мягкие" щелочи, как кальция карбонат (поташ) (CaCO_3), натрия карбонат (кальцинированная сода) (Na_2CO_3) [2].

Для оценки огнезащитной эффективности составов и веществ для древесины был использован стандартный метод по ГОСТ Р 53292-2009 [3].

Дымообразующие свойства горячей древесины в присутствии антипиренов устанавливали в соответствии с методикой экспериментального определения коэффициента дымообразования строительных материалов по ГОСТ 12.1.044-89 [4] п. 4.18.

Токсичность продуктов горения древесины с антипиренами определяли газоаналитическим методом по содержанию в образующейся атмосфере монооксида и диоксида углерода на установке по ГОСТ 12.1.044-89 [4] п. 4.20. При оценке токсичности продуктов горения различных пород древесины плотность радиационного теплового потока варьировали в диапазоне от 10,0 до 65,0 $\text{кВт}/\text{м}^2$. При испытании материалов на токсичность продуктов горения режим пламенного горения обеспечивается при создании на поверхности образца теплового потока с плотностью 65,0 $\text{кВт}/\text{м}^2$, которая соответствует температуре 750 °C.

Показатель токсичности продуктов горения HCL_{50} ($\text{г}/\text{м}^3$) рассчитывали с учётом известных средних значений летальных концентраций оксидов углерода, установленных по биоотклику животных на гибель 50 % из них.

При подготовке образцов для огневых испытаний пропиточные составы наносили на поверхность древесины кистью с установленным расходом.

Результаты исследования и обсуждение

В результате огневых испытаний по ГОСТ Р 53292-2009 было установлено, что наибольший огнезащитный эффект при использовании щелочных катализаторов гидроокиси натрия или гидроокиси калия в смеси с полифункциональным соединением наблюдается при определенном соотношении исходных компонентов пропиточных составов. Так для состава, содержащего полифункциональное соединение и гидроокись натрия, наибольший огнезащитный эффект для древесины сосны получен при содержании полифункционального соединения 5 % в водном растворе 20 %-й концентрации исходных веществ (рис. 1).

Различие в соотношении компонентов состава, при котором наблюдается наибольший огнезащитный эффект, связано, по всей видимости, с различной реакционной способностью используемых щелочных катализаторов (рис. 1).

На рис. 2 представлена зависимость потери массы древесины ели, обработанной пропиточными составами при испытании, от концентрации исходных веществ. Как показали результаты испытаний, для древесины ели соотношение компонентов, при котором наблюдается наибольший огнезащитный эффект, смещается в сторону уменьшения содержания полифункционального соединения, по сравнению с составами для древесины сосны.

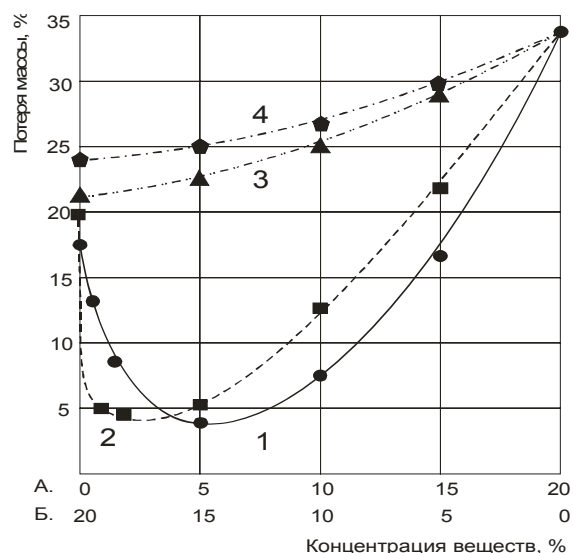


Рис. 1. Зависимость потери массы древесины сосны, обработанной пропиточными составами при испытании по ГОСТ Р 53292-2009, от концентрации исходных веществ: А – полифункциональное соединение; Б – катализатор процесса модификации древесины (1 – натрия гидроксид; 2 – калия гидроксид; 3 – кальция карбонат; 4 – натрия карбонат) с расходом поверхностного нанесения состава 400 г/м²

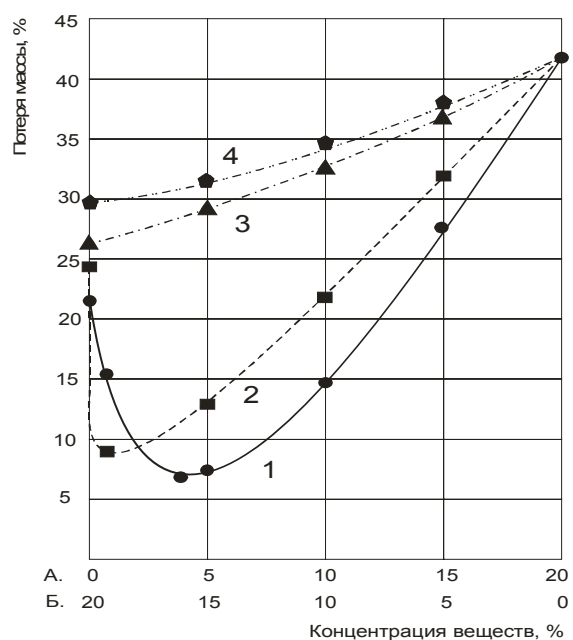


Рис. 2. Зависимость потери массы древесины ели, обработанной пропиточными составами при испытании по ГОСТ Р 53292-2009, от концентрации исходных веществ: А – полифункциональное соединение; Б – катализатор процесса модификации древесины (1 – натрия гидроксид; 2 – калия гидроксид; 3 – кальция карбонат; 4 – натрия карбонат) с расходом поверхностного нанесения состава 400 г/м²

Наибольшей эффективностью, так же, как и для древесины сосны, обладает состав с полифункциональным соединением и катализатором процесса модификации – натрий гидроокись в соотношении 4:16.

При использовании исследуемых составов для огнезащиты лиственных пород древесины берёзы и дуба огнезащитный эффект значительно повышается.

По результатам огневых испытаний было установлено, что наибольший эффект составов, содержащих гидроокись натрия и гидроокись калия, наблюдается также при определенном соотношении исходных веществ. При этом данное соотношение для лиственных пород древесины смещается в сторону большего содержания полифункционального соединения, по сравнению с хвойными породами.

Для составов, содержащих "мягкие" щелочи кальция карбонат и натрия карбонат, также установлено увеличение огнезащитного эффекта для лиственных пород, по сравнению с хвойными разновидностями древесины. При этом синергический эффект данных составов при различном содержании исходных веществ, так же, как и в случае огнезащиты хвойных пород древесины, не установлен.

Как показывают результаты огневых испытаний, I группа огнезащитной эффективности для составов, содержащих натрия гидроокись и калия гидроокись в смеси с полифункциональным соединением в соотношении, обеспечивающем наибольший огнезащитный эффект, достигается при расходе не менее 300 г/м^2 .

При использовании составов для огнезащиты древесины ели получение требуемого уровня огнезащиты возможно только при увеличении расхода антипирена (рис. 3).

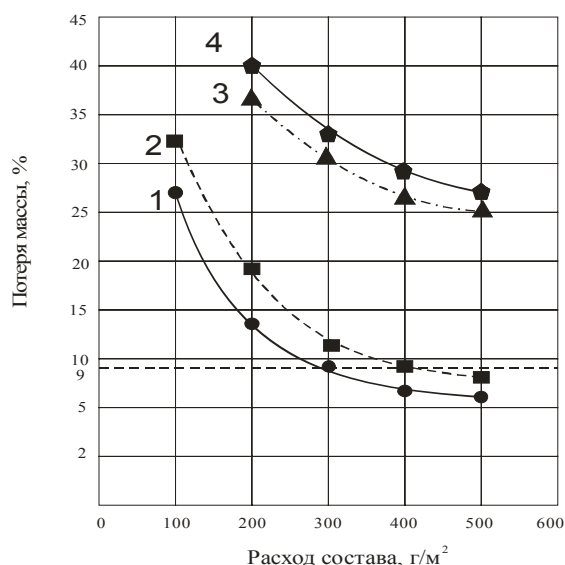


Рис. 3. Зависимость потери массы древесины ели, обработанной пропиточными составами с различными катализаторами процесса модификации (1 – натрия гидроксид; 2 – калия гидроксид; 3 – кальция карбонат; 4 – натрия карбонат) при испытании по ГОСТ Р 53292-2009 от расхода поверхностного нанесения состава

По результатам огневых испытаний было установлено, что для обеспечения I и II группы эффективности по ГОСТ Р 53292-2009 при огнезащите лиственных пород древесины возможно уменьшение расхода нанесения огнезащитных составов по сравнению с хвойными породами.

Как показывают результаты огневых испытаний, для получения I группы эффективности составов, содержащих в качестве основных компонентов гидроокись натрия и гидроокись калия, необходим расход нанесения антипирена для древесины березы не менее $300\text{--}350\text{ г/м}^2$, а для древесины дуба не менее $250\text{--}300\text{ г/м}^2$.

Высокий огнезащитный эффект антипиренов, содержащих в качестве основного компонента щелочной катализатор и полифункциональное соединение связан, прежде всего, с их способностью оказывать модифицирующее действие на основные компоненты древесины с образованием на защищаемой поверхности характерных пространственно-сетчатых структур, а также с возможностью интенсификации протекания процессов дегидратации и образования углистого остатка при огневом воздействии.

Данные статистики показывают, что причиной гибели людей на пожарах в 50 % случаев является задымлённость путей эвакуации и повышенная токсичность продуктов горения [5]. При этом до 80 % погибших зафиксировано в результате ингаляции токсичного дыма [6].

Перспективным направлением в области огнезащиты деревянных конструкций является применение огнезащитных составов для снижения дымообразующих свойств горящей древесины и токсичности продуктов её горения. На рис. 4 показано влияние исследуемых антипиренов на дымообразующие свойства горящей древесины.

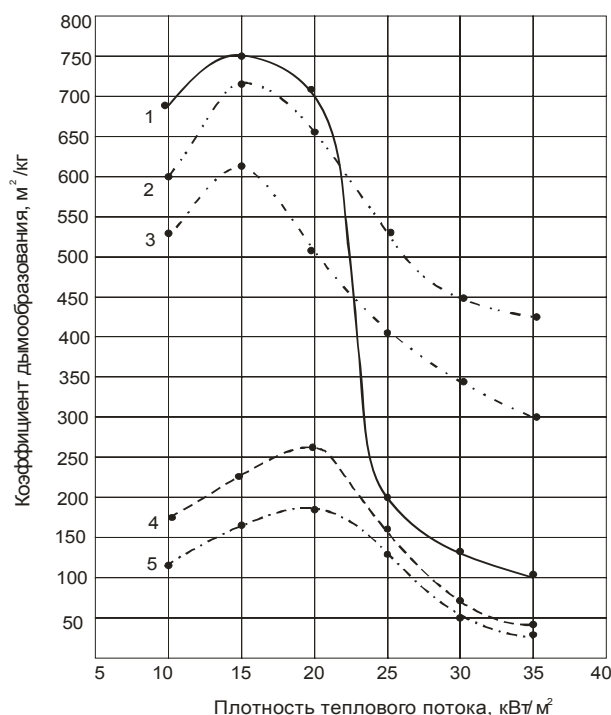


Рис. 4. Зависимость коэффициента дымообразования при испытаниях древесины сосны с антипиренами (расход 400 г/м^2), содержащими полифункциональное соединение и катализатор процесса модификации в соотношении, обеспечивающем наибольший огнезащитный эффект, по ГОСТ 12.1.044-89 п. 4.18 от плотности внешнего радиационного теплового потока:
1 – древесина сосны; 2 – натрия карбонат; 3 – кальция карбонат;
4 – калия гидроксид; 5 – натрия гидроксид

Наибольшей эффективностью в снижении дымообразования древесины обладает пропиточный состав, содержащий полифункциональное соединение и щелочной катализатор (натрия гидроксид) в соотношении 5:15 в водном растворе.

На рис. 5 представлена зависимость выхода монооксида углерода от температуры при испытании древесины с различными огнезащитными составами.

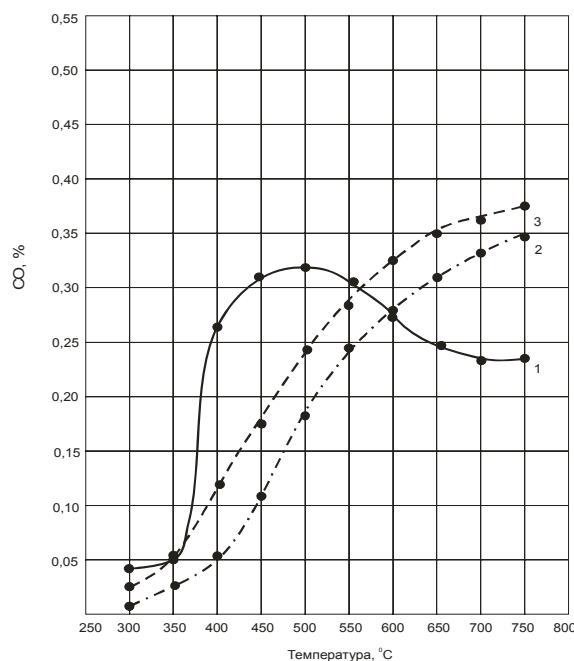


Рис. 5. Зависимость выхода монооксида углерода от температуры при испытаниях древесины необработанной и древесины с антипиренами:

1 – древесина необработанная; 2 – древесина с антипиреном "полифункциональное соединение – натрия гидроксид" с расходом нанесения 400 г/м^2 ; 3 – древесина с антипиреном "полифункциональное соединение – калия гидроксид" с расходом нанесения 400 г/м^2

Зависимость показывает, что при использовании антипиренов, содержащих полифункциональное соединение и щелочной компонент с расходом 400 г/м^2 при температуре испытания до 550°C выход монооксида углерода меньше, чем выход того же токсиканта при испытании натуральной древесины.

На рис. 6 представлена зависимость выхода монооксида углерода от температуры при испытании древесины с огнезащитными составами, содержащими "мягкие" щелочи: натрия карбонат и кальция карбонат.

Как показывают результаты испытаний, представленные на рис. 6, зависимость выхода монооксида углерода от температуры при испытании древесины с антипиренами носит экстремальный характер, который связан с переходом режима допламенного горения в режим пламенного горения.

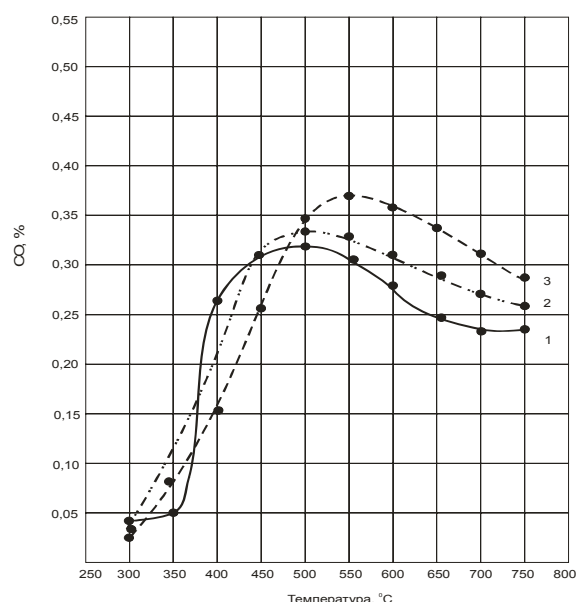


Рис. 6. Зависимость выхода монооксида углерода от температуры при испытаниях древесины необработанной и древесины с антипиренами:
 1 – древесина необработанная; 2 – древесина с антипиреном "полифункциональное соединение – натрия карбонат" с расходом нанесения 400 г/м^2 ; 3 – древесина с антипиреном "полифункциональное соединение – кальция карбонат" с расходом нанесения 400 г/м^2

На рис. 7, 8 представлены зависимости выхода диоксида углерода от температуры при испытаниях древесины необработанной и древесины с антипиренами с расходом 400 г/м^2 .

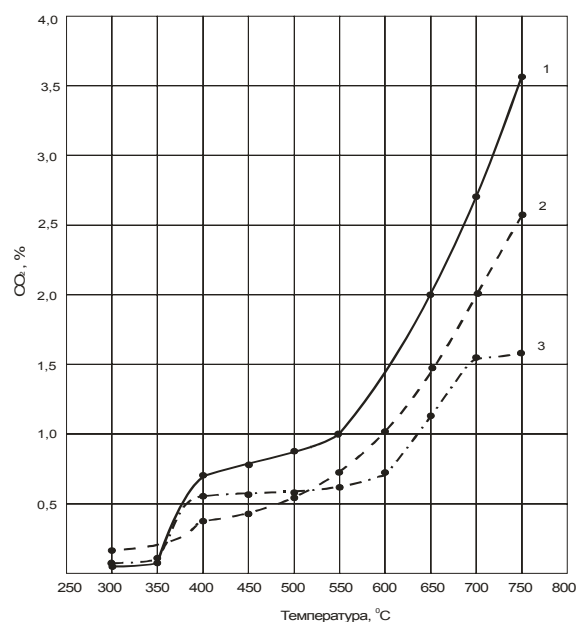


Рис. 7. Зависимость выхода диоксида углерода от температуры при испытаниях древесины необработанной и древесины с антипиренами:
 1 – древесина необработанная; 2 – древесина с антипиреном "полифункциональное соединение – натрия гидроксид" с расходом 400 г/м^2 ; 3 – древесина с антипиреном "полифункциональное соединение – калия гидроксид" с расходом 400 г/м^2

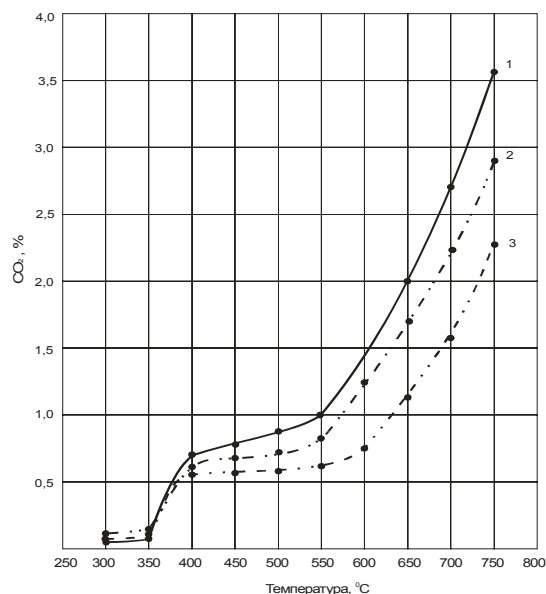


Рис. 8. Зависимость выхода диоксида углерода от температуры при испытаниях древесины необработанной и древесины с антипиренами: 1 – древесина необработанная; 2 – древесина с антипиреном "полифункциональное соединение – натрия карбонат" с расходом 400 г/м²; 3 – древесина с антипиреном "полифункциональное соединение – кальция карбонат" с расходом 400 г/м²

Как показывают результаты огневых испытаний, значения показателей выхода диоксида углерода при испытании образцов древесины отличаются незначительно, при этом использование антипиренов снижает выход диоксида углерода, по сравнению с натуральной древесиной.

На рис. 9 представлены результаты испытаний по определению показателя токсичности продуктов горения древесины по выходу оксида углерода с антипиренами "полифункциональное соединение – натрия гидроксид" и "полифункциональное соединение – калия гидроксид" с расходом нанесения 400 г/м².

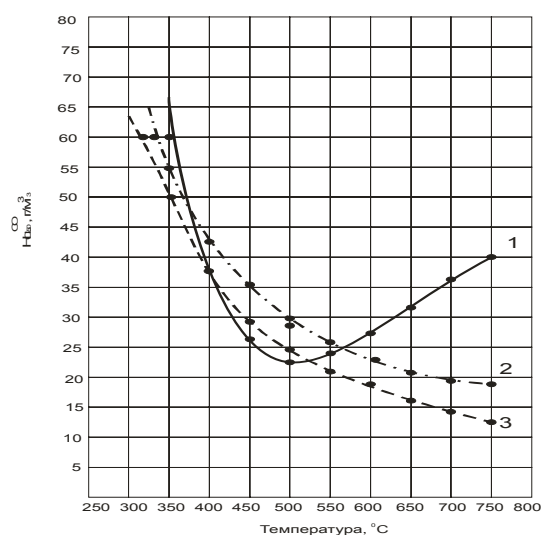


Рис. 9. Зависимость показателя токсичности продуктов горения по монооксиду углерода от температуры при испытаниях древесины необработанной и древесины с антипиренами: 1 – древесина необработанная; 2 – древесина с антипиреном "полифункциональное соединение – калия гидроксид" с расходом нанесения 400 г/м²; 3 – древесина с антипиреном "полифункциональное соединение – натрия гидроксид" с расходом нанесения 400 г/м²

У древесины, обработанной антипиренами "полифункциональное соединение – натрия гидроксид" и "полифункциональное соединение – калия гидроксид" с расходом 400 г/м^2 , режим допламенного горения реализуется при температурах более 750°C ($H_{CL50} = 13,5 \text{ г/м}^3$ и $18,5 \text{ г/м}^3$ соответственно).

На рис. 10 представлена зависимость показателя токсичности продуктов горения по монооксиду углерода от температуры при испытаниях древесины, необработанной и древесины, обработанной антипиренами "полифункциональное соединение – натрия карбонат" и "полифункциональное соединение – кальция карбонат" с расходом нанесения 400 г/м^2 .

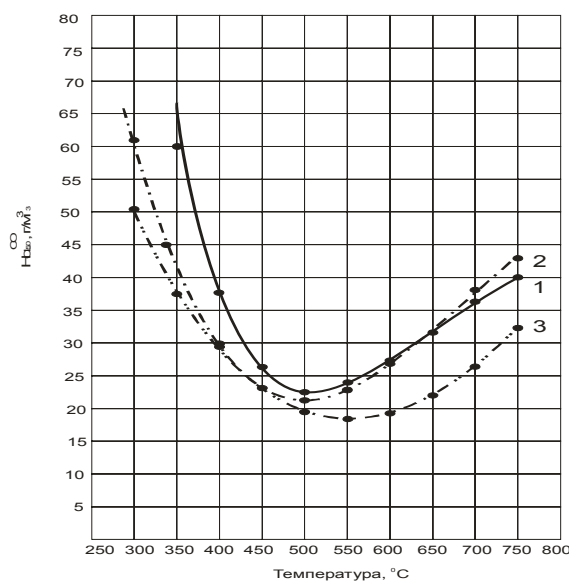


Рис. 10. Зависимость показателя токсичности продуктов горения по монооксиду углерода от температуры при испытаниях древесины необработанной и древесины с антипиренами:

1 – древесина необработанная; 2 – древесина с антипирином "полифункциональное соединение – натрия карбонат" с расходом нанесения 400 г/м^2 ; 3 – древесина с антипирином "полифункциональное соединение – кальция карбонат" с расходом нанесения 400 г/м^2

Таким образом, результаты испытаний показали, что исследуемые огнезащитные составы (антипирены) увеличивают токсичность продуктов горения древесины в режиме наибольшего выхода токсичных продуктов горения при переходе из допламенного режима в пламенный режим горения.

Основные выводы

В статье представлены результаты исследования эффективности новых огнезащитных составов для древесины, содержащих в качестве основных компонентов щелочной катализатор и полифункциональное соединение. Установлено, что данные составы обладают высокой огнезащитной эффективностью в определенном соотношении исходных компонентов, то есть проявляют синергический эффект. По результатам огневых испытаний установлены минимальные расходы нанесения составов, которые гарантированно обеспечивают получение I и II группы огнезащитной эффективности по ГОСТ Р 53292-2009.

Показано, что на эффективность исследуемых антипиренов оказывает существенное влияние разновидность защищаемой древесины.

Результаты испытаний дымообразующих свойств горящей древесины и древесины с антипиренами в диапазоне плотностей внешнего теплового потока от 10,0 до 35 кВт/м^2 показывают, что наибольшее дымообразование наблюдается в режиме допламенного горения исследуемых образцов. Максимальные значения коэффициента дымообразования наблюдаются при плотности внешнего радиационного теплового потока 15-20 кВт/м^2 . Исследования зависимостей дымообразующих свойств горящих материалов от плотности внешнего теплового потока в режиме допламенного горения показали, что значения коэффициента дымообразования существенно зависят от вида щелочного компонента.

По результатам исследования влияния антипиренов на токсичность продуктов горения древесины показано, что они смещают режим допламенного горения древесины в область более высоких температур, увеличивая при этом выход токсичных продуктов горения, в частности монооксида углерода (СО).

Наибольший выход монооксида углерода (СО) наблюдается в режиме допламенного горения древесины (режим максимальной величины теплового потока, при котором не наблюдается самовоспламенение испытуемого образца). При этом наблюдается экстремальный характер зависимости показателя токсичности продуктов горения материала от плотности внешнего радиационного теплового потока.

Анализ влияния средств огнезащиты на токсичность продуктов горения древесины показал, что исследуемые огнезащитные составы увеличивают токсичность продуктов горения в режиме допламенного горения древесины, со смещением данного режима в область более высоких температур, по сравнению с натуральной древесиной. Древесина, обработанная антипиренами, как и натуральная древесина, остаётся в группе материалов высокоопасных по токсичности продуктов горения (группа материалов ТЗ).

Литература

1. *Краткая* химическая энциклопедия, т. 1 // Советская энциклопедия, М., 1961, 211 с.
2. *Авторское свидетельство* 852916 (СССР). Огнезащитная краска для древесины / Вилшкерст Я.Я., Сорокина Ю.А. и др. // Бюллетень изобретений № 29 от 07.08.81, С 09 Д, 1/00.
3. *ГОСТ Р 53292-2009*. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на её основе. Общие требования. Методы испытаний.
4. *ГОСТ 12.1.044-89*. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
5. *Драздейл Д.* Введение в динамику пожаров // под. ред. Кошмарова Ю.А., Макарова В.Е. / М.: Стройиздат, 1990. 424 с.
6. *Fire Condition for Smoke Toxicity Measurement* / Gann R.G., Babrauskas V., Peacock R.D., Hall J.R. // Fire and Materials, 1994, v. 18. Pp. 193-199.

Статья опубликована 11 марта 2013 г.