

*А.А. Киреев, канд. хим. наук, доцент, УГЗУ,
С.Н. Бондаренко, канд. техн. наук, УГЗУ*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВТОРНОГО ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ОБРАБОТАННОЙ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИМИ ОГНЕТУШАЩИМИ СОСТАВАМИ

(представлено д-ром хим. наук Р.А. Яковлевой)

Приведены результаты экспериментального исследования времени повторного воспламенения образцов древесины, обработанных водой и гелеобразующими составами $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$. Установлено, что основное влияние на время повторного воспламенения древесины оказывает удельный расход гелеобразующего состава.

Постановка проблемы. При тушении пожаров, особенно крупных, приходится сталкиваться с явлением повторного воспламенения. Это явление затрудняет процесс тушения, вызывает потребность в привлечении дополнительных сил и средств, увеличивает время ликвидации пожара.

Повторное воспламенение твёрдых горючих материалов (ТГМ) возникает по двум основным причинам. Во-первых, повторное воспламенение возможно за счёт тепла аккумулированного в потушенном материале. Второй причиной повторного воспламенения является воздействие на потушенные участки пожара теплового излучения или пламени от непотушенных участков пожара. Первая причина повторного воспламенения учитывается при экспериментальном определении показателя огнетушащей способности веществ. Модельный очаг считается потушенным, если в течение 10 минут не происходит его повторное воспламенение при отсутствии внешнего теплового воздействия [1-2]. Вторая причина повторного воспламенения до настоящего времени практически не рассматривалась. А именно она является одной из основных проблем при тушении крупных пожаров. Поэтому важной проблемой в области пожаротушения является предотвращение повторного воспламенения. Это, в свою очередь, вызывает необходимость исследования факторов, влияющих на повторное воспламенение.

Анализ последних исследований и публикаций. При ликвидации большинства пожаров в качестве огнетушащего вещества используют воду, которая быстро стекает с вертикальных и наклонных поверхностей. Поэтому вода обладает незначительным огнезащитным действием. Этому недостатка лишены огнетушащие и огнеза-

щитные гелеобразующие системы (ГОС) [3]. При подаче компонентов такой огнетушащей системы на твёрдых поверхностях образуется нетекущий огнезащитный слой. Этот слой прочно закрепляется на вертикальных и наклонных поверхностях.

Преимущество гелеобразующих огнетушащих и огнезащитных составов перед водой заключается в существенном уменьшении потерь огнетушащего вещества за счет отсутствия стекания с наклонных и вертикальных поверхностей. Другим существенным преимуществом гелеобразующих огнетушащих составов перед водой является их способность защищать обработанные поверхности от воспламенения, на длительный промежуток времени [4-6]. Также было установлено существенное увеличение времени повторного воспламенения древесины после тушения ГОС. Для экспериментального определения влияния ГОС на время повторного воспламенения был использован экспресс-метод [7]. Этот метод не учитывал одно из условий тушения реального пожара – процесс тушения пожара и огневое воздействие происходят одновременно.

В экспресс-методе образец древесины на время обработки извлекался из пламени и его обработка ГОС осуществлялась при отсутствии огневого воздействия. При этом происходило частичное остывание образца, особенно его поверхности. Подача огнетушащего состава также проводилась при отсутствии огневого воздействия, что приводило к уменьшению потерь огнетушащих веществ (ОВ) по сравнению с условиями тушения реального пожара. Ещё одним недостатком экспресс метода являлась визуальная фиксация момента повторного воспламенения.

Постановка задачи и её решение. Задачей исследования является разработка метода определения времени повторного воспламенения ТГМ, учитывающего реальные условия тушения пожара и экспериментальное определение на основании этого метода времени повторного воспламенения образцов древесины, потушенных ГОС.

За основу лабораторной установки для определения времени повторного воспламенения была взята установка ОТМ, используемая для определения групп трудногорючих материалов [8-9]. Каркас установки изготовлен из металлических уголков 20×20 мм. В нижней части установки размещается газовая горелка Теклю, с плоской насадкой «ласточкин хвост» (ширина щели 4 мм, длина 50 мм). В средней части прибора установлены ограничивающие стенки, изготовленные из нержавеющей стали. На лицевой стенке укреплен термометр. Выше установлены два экрана для отвода горячих газов и дыма. В экранах имеются совмещенные по оси отверстия диаметром 5 мм для пропуска проволоки, на которой подвешивается испытуемый образец. Рядом с каркасом установки на подставке устанавли-

ваются весы непрерывного взвешивания ТНВ–600 (точность взвешивания – 0,01 г, время реакции весов на изменение массы – 1,5 с). На этих весах подвешивается контрольный образец бруска древесины, так чтобы он располагался на расстоянии 25 см от исследуемого образца и находился на одном с ним уровне. Внешний вид лабораторной установки для определения времени повторного воспламенения приведён на рис. 1.



Рисунок 1 – Общий вид лабораторной установки для определения времени повторного воспламенения

Образец горючего материала подвешивается так, чтобы от верхнего среза насадки газовой горелки до нижнего среза испытуемого образца расстояние составляло 10 см. Расход газа регулировался так, чтобы при отсутствии образца в месте его установки, обеспечить температуру в месте установки термометра (100 ± 5) °С.

При проведении огневых испытаний с использованием разработанной лабораторной установки, имеется возможность непрерывного контроля температуры, образующихся при горении газов с помощью термоэлектрического термометра. В отличие от установки ОТМ, в связи с открытостью испытуемого образца, возможно на работающей установке осуществлять подачу на него ОВ и проводить визуальные наблюдения.

Одной из задач которую необходимо решить при проведении огневых испытаний является определение массы ОВ, попадающей на исследуемый образец. Путём измерения массы испытуемого образца это сделать невозможно, так как часть воды при подаче растворов и контакте с нагретым образцом теряется. Для решения этой задачи был использован метод образца сравнения. Образец сравнения, изготовленный из того же материала и имеющий те же размеры что и исследуемый образец, подвешивался на расстоянии 25 см на таком же уровне, что и основной образец. Подача компонентов ГОС была организована так, что на оба образца попадало одинаковое их количество. Режимы подачи ГОС на образцы были отработаны с серии предварительных опытов.

Контроль количества поданного ОВ осуществлялся по образцу сравнения. Подача ГОС осуществлялась с двух сторон образца за время, не превышающее 1,5 минуты.

При выборе размеров образца была принята площадь боковой поверхности одной грани 100 см^2 . С учётом того, что насадка газовой горелки обеспечивала подачу пламени шириной ~ 7 см, были приняты размеры большой грани образца $7 \times 14,3$ см. Для выбора толщины образца были проведены предварительные опыты.

При этом было учтено, что на верхнюю, нижнюю и боковые грани исследуемого образца огнетушащий состав попадал в небольших количествах. В связи с этим было принято, что толщина образцов должна быть незначительной. С другой стороны, экспериментально было установлено, что образцы толщиной ≤ 1 см сгорали за 3–4 минуты. Сам же процесс тушения занимал от 0,5 до 1,5 минуты. При толщине образца 1,25 см процесс пламенного горения образца продолжался ~ 7 минут. Дальнейшее увеличение толщины образца увеличивало время пламенного горения, но одновременно вносило неопределённость за счёт горения боковых граней экспериментального образца. На основании вышеизложенного была принята толщина образца равная 1,25 см.

При такой толщине образца общая поверхность двух больших граней составляла 200 см^2 , а суммарная поверхность верхней, нижней и боковых граней $53,25 \text{ см}^2$. Однако, несмотря на то, что на боковые грани попадало незначительное количество огнетушащего состава, процесс их горения протекал с незначительной интенсивностью. Это было установлено в серии предварительных экспериментов, в которых огнетушащим составом были обработаны и боковые грани. При больших же толщинах исследованных образцов увеличивалась площадь боковых граней и возрастала их интенсивность горения.

В качестве горючего материала была выбрана древесина, требования к которой изложено в ГОСТ 12.1.044-89. Для получения

воспроизводимых результатов образцы выбирались по массе. Так в серии опытов выбирались образцы с массой $\pm 5\%$ от средней массы. Тушение образца во всех случаях начиналась через 3 минуты после его введения в пламя горелки. При этом потеря массы исследуемых образцов составляла $(40\pm 3)\%$. За это время достигалась максимальная интенсивность горения и, в тоже время, оставалось большая часть горючего материала для обеспечения возможности повторного воспламенения.

Эксперимент проводился в следующей последовательности.

1. Зажигалась газовая горелка, и устанавливался расход газа таким образом, чтобы обеспечить постоянную температуру $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$.

2. Через 5 минут после начала работы установки подвешивались контрольный и исследуемый деревянные бруски.

3. После введения исследуемого образца в пламя начинается отсчёт времени и фиксация температуры с помощью установленного термометра.

4. Через три минуты с помощью распылителей ОП–301 осуществляется подача ГОС на оба образца последовательно, сначала с одной, а затем с другой стороны до достижения заданной массы контрольного образца.

5. Измерение температуры продолжается до момента окончания горения (снижения температуры до 100°C).

За время повторного воспламенения принималось время от начала тушения до момента достижения температуры 110°C . На рис.2 приведены результаты по тушению образцов древесины ГОС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(17\%)+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(10\%) + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(18\%)$ при различных удельных расходах ОБ.

Ранее, по результатам экспресс-метода [7], было установлено, что на время повторного воспламенения наиболее существенно влияет удельный расход ОБ. При исследовании в широкой области концентраций было установлено, что наибольшее влияние на время повторного воспламенения оказывают такие компоненты ГОС: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ и $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2$. При малых концентрациях компонентов времена повторного воспламенения ниже, чем при средних и высоких концентрациях. Для средних и высоких концентраций, экспресс–метод не показал заметного различия во временах повторного воспламенения. Возможно, это связано с невысокой точностью фиксации времени повторного воспламенения в используемом методе. Необходимо отметить, что ГОС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2$, показала наилучшие огнетушащие свойства из всех исследованных систем [10], как раз в этой области концентраций. Поэтому было проведено более детальное исследование влияния кон-

центраций компонентов ГОС и удельного расхода ОБ на времена повторного воспламенения в области средних и высоких концентраций.

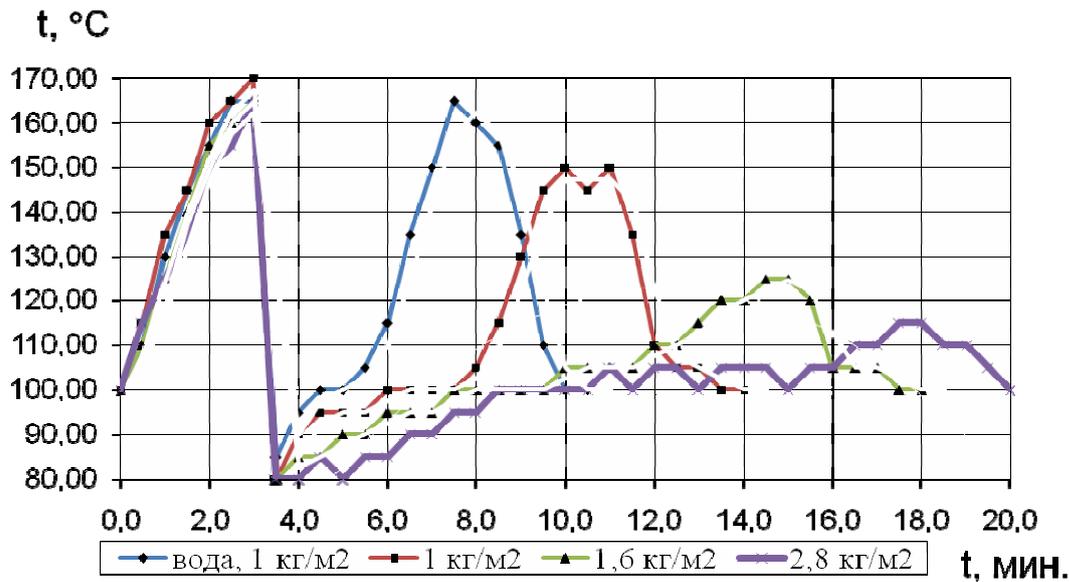


Рисунок 2 – Ход изменения температуры в опытах по повторному воспламенению при тушении образца древесины водой и ГОС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(17\%) + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(10\%) + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(18\%)$ при различных удельных расходах ОБ

Для выявления количественной взаимосвязи между концентрациями компонентов ГОС, расходом ОБ и временем повторного воспламенения был использован центральный композиционный ротационный план второго порядка [11]. Уровни варьирования факторов выбирались с учётом следующих условий:

- концентрации компонентов ГОС должны находиться в пределах обеспечивающих их химическую совместимость и возможность быстрого гелеобразования;

- максимальная величина удельного расхода ГОС ограничена значением, при котором наблюдалось существенное отслаивания гелеобразного покрытия в процессе огневого воздействия.

Уровни варьирования факторов по плану полного факторного эксперимента типа 2^4 представлены в табл. 1.

Реализация плана эксперимента позволила оценить коэффициенты регрессии полинома второй степени

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^4 b_i \cdot x_i + \sum_{i < j} b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^4 b_{ii} \cdot x_i^2, \quad i = \overline{1,4}.$$

После проверки гипотезы о значимости коэффициентов модели и её адекватности было получено уравнение регрессии. В кодированных переменных оно имеет вид

$$y = 5,214 + 2,93 \cdot x_4 + 0,54 \cdot x_4^2,$$

и соответственно в натуральных координатах

$$y = 1,241 + 0,077 \cdot \frac{m}{s} + 1,506 \cdot \left(\frac{m}{s}\right)^2.$$

Таблица 1– Уровни варьирования факторов

Факторы	Кодовое обозначение	Нулевой уровень $x_i = 0$	Интервал варьирования	Максимальный уровень $x_i = 1$	Минимальный уровень $x_i = -1$
Концентрация $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$, %	x_1	18	5	23	13
Концентрация $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, %	x_2	17	1,5	18,5	15,5
Концентрация $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, %	x_3	10	2	12	8
Удельный расход ГОС, $\text{кг}/\text{м}^2$	x_4	1,6	0,6	2,2	1,0

Как видно из приведённых выражений, в избранной области концентраций первые три фактора не являются значимыми. Полученная модель доказывает, что использование ГОС приводит к увеличению времени повторного воспламенения ТГМ, при этом существенную роль играет толщина гелеобразного слоя, которая пропорциональна величине удельного расхода ГОС. Для выбранной области значений факторов, максимальный расход ГОС равен $2,8 \text{ кг}/\text{м}^2$. Ему соответствует время повторного воспламенения 13,2 минуты.

Выводы. Создана лабораторная установка и разработан метод определения времени повторного воспламенения ТГМ. На основании этого метода экспериментально определены времена повторного воспламенения образцов древесины обработанных водой и гелеобразующими составами $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ с разными удельными расходами ОБ. На основании реализации ротатабельного композиционного плана второго порядка установлен квадратичный характер зависимости времени повторного воспламенения от удельного расхода ОБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3675–98. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань. Київ. Держстандарт України. 1998.
 2. Антонов А.В., Боровиков В.О., Орел В.П., Жартовский В.М., Ковалишин В.В. Вогнегасні речовини. Посібник. Київ: Пожінформтехніка, 2004. – 176 с.
 3. Патент 2264242 Российская федерация. МПК7 А62С, 5/033.Способ тушения пожара и состав для его осуществления Борисов П.Ф., Росоха В.Е., Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Бабенко А.В. Заявка №2003237256/12. Заявл. 23.12.2003, Опубл. 20.11.10.2005, Бюл. №32.
 4. Абрамов Ю.О., Кіреєв О.О., Щербина О.М. Дослідження впливу товщини шару гелю на його вогнегасні властивості. // Пожежна безпека. – 2006. – № 8, – С. 159-162.
 5. Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Щербина О.Н. Термогравиметрические исследования огнезащитного действия на древесину гелей системы $MgCl_2 + Na_2O \cdot 2,7 SiO_2$ // Пожежна безпека. – 2006. – № 9. – С. 42-46.
 6. Кіреєв О.О. Вогнезахисні властивості силікатних гелеутворюючих систем. // Науковий вісник будівництва. – 2006.– вып.37. – С.188-192.
 7. Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Щербина О.Н. Влияние гелеобразных слоёв на время повторного воспламенения древесины // Пожежна безпека. – 2007.– №.10.– С.88-91.
 8. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2 книгах; кн. 1/ А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М., Химия, 1990. – 496 с.
 9. ГОСТ 12.1.044 – 89 Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения; Введ. 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов. 1989. – 143 с.
 10. Киреев А.А., Бондаренко С.Н. Исследование огнетушащего действия гелеобразующих огнетушащих составов // Проблемы пожарной безопасности. – 2008, Вып.24, С.44 - 49.
 11. Винарский В.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технических исследованиях. – Киев: Техника, 1975.– 168 с.
- puszu.edu.ua

Статья поступила в редакцию 18.03.2009 г.