

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОГNETУШАЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ ОГNETУШАЩИХ СОСТАВОВ**

(представлено доктором техн. наук В.М. Комяк)

Проведены экспериментальные исследования огнетушащего действия гелеобразующей системы  $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2 + \text{ПАВ})$ . Получено регрессионное уравнение, описывающее влияние состава этой системы на её показатель огнетушащей способности.

**Постановка проблемы.** Повышение эффективности пожаротушения является основной задачей пожарной науки. Для решения этой задачи одним из наиболее перспективных направлений является подбор новых огнетушащих веществ с повышенными огнетушащими свойствами. Одним из важнейших количественных показателей эффективности огнетушащего вещества (ОВ) является его показатель огнетушащей способности [1-2]. При тушении твёрдых горючих материалов этот показатель определяется массой огнетушащего вещества, приходящегося на единицу площади модельного очага пожара достаточной для уверенного тушения в нём в условиях стандартного эксперимента.

Повышению эффективности пожаротушения соответствует уменьшение численного значения показателя огнетушащей способности. Этот показатель зависит от ряда факторов, основными из которых являются физико-химические свойства огнетушащего средства.

При тушении реальных пожаров огнетушащая эффективность веществ оказывается существенно меньше соответствующих теоретических значений. Так, для жидкофазных огнетушащих веществ, основным из которых является вода, огнетушащая эффективность на порядок меньше теоретических значений. Это, в основном, определяется потерями огнетушащего вещества за счёт стекания с вертикальных и наклонных поверхностей. Другим фактором неполного использования огнетушащего вещества является эффект образования между каплями воды и нагретой поверхностью паровой плёнки (эффекта Лейденфроста) [3]. Эта плёнка не допускает прямого контакта капель жидкости с твёрдой поверхностью, что приводит к падению

---

---

вниз крупных капель и уносу конвективными потоками мелких капель.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Для предотвращения потерь огнетушащих жидкофазных веществ были предложены огнетушащие и огнезащитные гелеобразующие средства (ГОС) [4-5]. Они состоят из двух отдельно хранимых и одновременно подаваемых составов. Один из составов представляет собой раствор гелеобразующего компонента – силиката щелочного металла. Второй состав – раствор веществ взаимодействующих с силикатом с образованием устойчивого нетекучего геля. Гель образует слой, который прочно закрепляется на вертикальных и наклонных поверхностях.

Как известно, основными механизмами прекращения горения являются: охлаждение зоны горения или горящего вещества, разбавление веществ, участвующих в процессе горения, изоляция горючих веществ от зоны горения, ингибирование химической реакции окисления. Гелеобразующие составы в той или иной степени обладают всеми механизмами прекращения горения. Так как основную часть таких составов представляет вода, то им присуще высокое охлаждающее действие. При испарении ГОС образуются пары воды, которые обеспечивают разбавляющее действие. После испарения воды из слоя геля образуется слой ксерогеля, который проявляет изолирующее действие. В состав гелеобразующей композиции возможно введение ингибиторов горения, что позволяет увеличить огнетушащее действие таких составов.

Ранее были установлены высокие оперативные огнезащитные свойства гелеобразных слоёв [6-8]. Также были проведены исследования огнетушащих характеристик ряда гелеобразующих систем [9]. Были установлены качественные закономерности влияния концентраций веществ, входящих в состав ГОС, на их огнетушащие характеристики. Установлено, что существенное влияние на показатель огнетушащей способности этих систем оказывают концентрации гелеобразователя ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2$ ) и компонентов катализатора гелеобразования. Также установлен положительный вклад на огнетушащие свойства наличия поверхностно-активных веществ (ПАВ). Результаты последней работы не позволили установить количественной связи между составом ГОС и её показателем огнетушащей способности.

**Постановка задачи и её решение.** Целью работы является установление количественной взаимосвязи между составом ГОС и её огнетушащим действием. Для этого были проведены экспериментальные исследования влияния концентраций компонентов ГОС на её показатель огнетушащей способности. В качестве горючего материала была выбрана древесина. В качестве модельного очага пожара класса А был выбран штабель из 32 брусков размером  $20 \times 20 \times 150$  мм,

уложенных в 8 слоёв по 4 бруска в каждом. Расстояние между брусками в ряду 20 мм [10].

Обработка полученных результатов выполнена с использованием методов теории планирования эксперимента. Ранее было установлено, что на показатель огнетушащей способности ГОС наибольшее влияние оказывают четыре фактора [9]: концентрации  $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  и ПАВ. С учётом химической совместимости компонентов ГОС и условия возможности быстрого гелеобразования были определены уровни варьирования этих факторов (табл. 1).

**Таблица 1 – Уровни варьирования четырёх факторов (модель определения показателя огнетушащей способности)**

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
Концентрация ПАВ, %	$x_4$	1.5	0.5	2.0	1.0

Эксперимент был реализован в соответствии с центральным композиционным рототабельным планом второго порядка. Реализация плана типа  $2^4$  представлена в табл.2.

**Таблица 2 – Условия и результаты опытов по исследованию огнетушащего действия гелеобразующей системы  $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7 \text{SiO}_2)$**

$x_1$	$x_1$	$x_3$	$x_4$	F	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	F
-1	-1	-1	-1	475	-2	0	0	0	355
+1	-1	-1	-1	480	+2	0	0	0	380
-1	+1	-1	-1	455	0	-2	0	0	390
+1	+1	-1	-1	465	0	+2	0	0	350
-1	-1	+1	-1	330	0	0	-2	0	490
+1	-1	+1	-1	340	0	0	+2	0	280
-1	+1	+1	-1	310	0	0	0	-2	380
+1	+1	+1	-1	320	0	0	0	+2	365
-1	-1	-1	+1	465	0	0	0	0	390
+1	-1	-1	+1	475	0	0	0	0	370

-1	+1	-1	+1	450	0	0	0	0	350
+1	+1	-1	+1	325	0	0	0	0	360
-1	-1	+1	+1	340	0	0	0	0	375
+1	-1	+1	+1	335	0	0	0	0	370
-1	+1	+1	+1	305	0	0	0	0	355
+1	+1	+1	+1	310					

Выполнив расчет значений коэффициентов регрессии и оценив их значимость по критерию Стьюдента [11], было получено уравнение регрессии

$$F = 367,15 - 15,83x_2 - 59,167x_3 - 8,33x_4 + 6,54x_3^2 - 9,375x_1 \cdot x_4 - 9,375x_2 \cdot x_4 + 9,375x_3 \cdot x_4 \quad (1)$$

Проверка адекватности полученной модели по критерию Фишера дала положительный результат.

Анализ выражения (1) показал, что увеличение значений концентраций всех компонентов ГОС, за исключением первого, ведет к уменьшению значения функции отклика. При этом, наибольший эффект вносит изменение концентрации  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ . Статистическая незначимость оценки при первом факторе подтверждает экспериментальный вывод о слабом влиянии концентрации  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$  на показатель огнетушащей способности, однако присутствие данного компонента необходимо для процесса гелеобразования. Значительное влияние на исследуемый показатель оказывает также концентрация ПАВ, это подтверждается тем, что оценки при взаимодействии факторов выше там, где присутствует  $x_4$ .

Проведем исследование выражения (1) на экстремум. Запишем частные производные по всем переменным

$$\frac{\partial F}{\partial x_1} = -9,375 \cdot x_4;$$

$$\frac{\partial F}{\partial x_2} = -15,83 - 9,375 \cdot x_4;$$

$$\frac{\partial F}{\partial x_3} = -59,167 + 13,08 \cdot x_3 + 9,375 \cdot x_4;$$

$$\frac{\partial F}{\partial x_4} = -8,33 - 9,375 \cdot x_1 - 9,375 \cdot x_2 + 9,375 \cdot x_3.$$

---

Приравняв правые части полученных выражений нулю, получим систему линейных уравнений, которая после преобразования примет вид

$$\begin{cases} -9.375 \cdot x_4 = 0; \\ -9.375 \cdot x_4 = 15.83; \\ 13.08 \cdot x_3 + 9.375 \cdot x_4 = 59.167; \\ -9.375 \cdot x_1 - 9.375 \cdot x_2 + 9.375 \cdot x_3 = 8.33. \end{cases} \quad (2)$$

Очевидно, что главный определитель системы (2) равен нулю. Следовательно, стационарная точка отсутствует, а наименьшего значения функция (1) достигает на границе области определения. Для проверки этой гипотезы была проведена процедура пошагового перебора по всем четырем координатам. В результате расчетов установлено, что наименьшее значение показателя огнетушащей способности (максимальная огнетушащая эффективность) гелеобразующей системы  $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{ SiO}_2) + \text{ПАВ}$  достигается при максимальных значениях всех координат.

**Выводы.** На основании экспериментальных исследований огнетушащего действия гелеобразующей системы  $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{ SiO}_2 + \text{ПАВ})$  установлена количественная взаимосвязь между её показателем огнетушащей способности и концентрациями компонентов. Наибольший вклад в улучшение огнетушащей способности ГОС вносит дигидрофосфат аммония.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2272. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять.
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. Тарахно О.В., Шаршанов А.Я. Фізико–хімічні основи використання води в пожежній справі. – Харків: АЦЗУ, 2004. – 252 с.
4. Патент. 60882 Україна, МКІ 7А62С1/00. Способ гасіння пожежі та склад для його здійснення/Борисов П.Ф., Росоха В.О., Абрамов Ю.О., Кіреєв О.О., Бабенко О.В. (Україна). АПБУ.-№ 2003032600. Заявл. 25.032003; опубл. 15.10.2003, бюл. № 10, 2003.
5. Патент 2264242 Российская федерация. МПК7 А62С, 5/033.Способ тушения пожара и состав для его осуществления Борисов П.Ф., Росоха В.Е., Абрамом Ю.А., Киреев А.А., Бабенко А.В. За-

---

явка №2003237256/12. Заявл. 23.12.2003, Опубл. 20.11.10.2005, Бюл. №32.

6. Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Жерноклёв К.В. Исследование областей быстрого гелеобразования огнетушащих и огнезащитных систем на основе гидроксидов и карбонатов // Науковий вісник будівництва. – 2006. – вып.36. – С.190-194.

7. Киреев А.А., Тарасова Г.В., Жерноклёв К.В. Исследование массовой скорости выгорания древесины, огнезащищённой гелеобразующей системой  $MgCl_2 + Na_2O \cdot 2,7 SiO_2$ . // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2006. – №43. – С.65-70.

8. Киреев А.А. Термогравиметрические исследования огнетушащих и огнезащитных гелей // Проблемы пожарной безопасности. – 2006. – вып. 20. – С.81-85.

9. Абрамов Ю.О., Киреев О.О., Щербина О.М., Бедзай А.О. Дослідження вогнегасної дії гелеутворюючих систем на основі силікатів. // Пожежна безпека. – 2007. – №.11. – С.100-104.

10. Абрамов А.А., Степаненко С.Г., Шкоруп А.И. Параметры горения модельного очага пожара класса А // Средства порошкового пожаротушения: Сборн. научн. статей. – М.: ВНИИПО. – 1992. – С. 3-5.

11. Винарский В.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. – Киев: Техника, 1975. – 168 с.  
nuczu.edu.ua

Статья поступила в редакцию 11.09.2008 г.