

*Ю.А. Абрамов, д-р техн. наук, профессор, УГЗУ,
А.А. Киреев, канд. хим. наук, доцент, УГЗУ,
С.Н. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент, УГЗУ*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ ОГНЕТУШАЩИХ СОСТАВОВ, СОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФАТ АММОНИЯ

Проведены экспериментальные исследования охлаждающего действия ряда гелеобразующих систем, содержащих в своём составе сульфат аммония. Установлено, что наибольшее охлаждающее действие проявляют гелеобразующие системы, содержащие максимальные концентрации сульфата аммония и минимальные концентрации полисиликата натрия.

Постановка проблемы. При тушении твёрдых горючих материалов (ТГМ), способных аккумулировать большие количества тепла, решающим фактором окончательного прекращения процесса горения является охлаждение этих материалов до температуры, не допускающей повторного воспламенения. Поэтому важнейшей характеристикой огнетушащего вещества (ОВ), используемого для тушения ТГМ, является его охлаждающее действие.

Под охлаждающим действием огнетушащего вещества понимают количество тепла, которое может поглотить вещество, смесь веществ или раствор при своём нагревании в очаге пожара. При этом предполагается, что огнетушащее вещество используется полностью, то есть отсутствуют потери. В таком случае речь идёт о теоретическом значении охлаждающего действия. Теплота при нагревании вещества может расходоваться на его нагревание (теплоёмкостная составляющая), плавление, испарение и химические превращения. Практическое значение охлаждающего действия обычно значительно отличается от теоретического значения. В основном это объясняется потерями ОВ имеющими место при тушении пожара.

Для решения проблемы потерь жидкофазных огнетушащих веществ было предложено использовать гелеобразующие составы (ГОС) [1,2]. Они представляют собой два раздельно хранимых и одновременно подаваемых состава. Первый состав представляет собой водный раствор гелеобразующего компонента. Второй состав – водный раствор катализатора гелеобразования. При одновременной подаче двух составов они смешиваются на горящих или защищаемых поверхностях. Между компонентами растворов происходит взаимо-

действие, приводящее к образованию стойкого геля. Гель образует на поверхности нетекущий огнезащитный слой, который легко удерживается на вертикальных и наклонных поверхностях.

До настоящего времени вода остаётся основным огнетушащим веществом (ОВ). Это во многом объясняется тем, что вода является веществом, обладающим уникальным охлаждающим действием [3]. Среди веществ находящихся в жидком состоянии при обычных температурах она имеет наибольшую теплоту испарения (2254 кДж/кг при 25°C). Вода также имеет высокое значение удельной теплоёмкости.

Анализ последних достижений и публикаций. В работах [4-5] было установлено, что добавки сульфата аммония увеличивают охлаждающее действие ГОС. Сульфат аммония в таких системах может быть использован как целевая добавка к раствору катализатора гелеобразования, так и самостоятельно как катализатор гелеобразования. Минимальная концентрация сульфата аммония, вызывающее быстрое гелеобразование составляет 12 % [6]. Минимальная концентрация полисиликата натрия в случае использования $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ как гелеобразователя составляет 8 %.

Уменьшить концентрацию гелеобразователя возможно используя в качестве добавки к $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ более эффективного катализатора гелеобразования. Учитывая совместимость компонентов катализатора гелеобразования, учитывая результаты работ [7-8] целесообразно использовать для этих целей хлорид магния. Концентрация хлорида магния была зафиксирована на минимально возможном уровне – 4 %.

Влияние концентраций компонентов ГОС на её охлаждающее действие исследовано не было.

Постановка задачи и её решение. Целью работы является экспериментальное изучение влияния концентраций компонентов ГОС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2$ и $(\text{MgCl}_2 (4 \text{ \%}) + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2)$ и на её охлаждающее действие.

В качестве температуры, при которой изучалось охлаждающее действие, была выбрана температура 400 °С. Для исследования охлаждающего действия была использована лабораторная установка [5]. Она состояла из металлической пластины размерами 250×175×10 мм массой 3,3 кг. К пластине была прикреплена труба в виде металлического стержня. Также в пластине было сделано небольшое углубление для размещения термометра. Для осуществления одновременной подачи двух компонентов гелеобразователя состава в виде распыленной струи использовалась пластина (рис. 1), каждый из которых обеспечил заданный расход. Для определения массы ОВ помещенного в охлаждаемое изделие использовались технические весы. Погрешность определения массы не превышает 1 г. Температура пла-

грешность определения массы не превышала 1 г. Температура пластины определялась с помощью термопары ТХА и регистрирующего вольтметра МПШ 254 с точностью ± 5 °С.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. Металлическая пластина с помощью газовых горелок нагревалась до температуры 450 °С. После этого она с помощью штативов закреплялась в вертикальном положении на стенде. В углубление в пластине вводилась термопара. Через 1 минуту начиналась запись показаний прибора, которая проводилась через каждые 30 с. При достижении температуры 400 °С на поверхность пластины подавались компоненты гелеобразующей системы. Запись показаний продолжалась 5 минут после подачи ОВ.

На основании полученных данных строилась кривая охлаждения. По методике принятой в калориметрии [9] определялось понижение температуры (ΔT) пластины за счёт воздействия ОВ. Такая процедура позволяла учесть потери тепла за счёт теплообмена с окружающей средой.

На основании значений ΔT , рассчитывалось количество тепла поглощенное ОВ

$$Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T,$$

где c_p – удельная теплоёмкость материала пластины (стали),
 m – масса пластины.

Охлаждающее действие ($Q_{\text{охл}}$) определялось как количество поглощенного ОВ тепла отнесённое к единице его массы ($m_{\text{ов}}$)

$$Q_{\text{охл}} = Q / m_{\text{ов}}.$$

Все значения охлаждающего действия рассчитаны как среднее арифметическое из двух независимых определений.

Для выявления количественно взаимосвязи между охлаждающим действием ГОС и концентрациями компонентов был поставлен эксперимент типа 22. Матрица планирования эксперимента, результаты опытов и выбранные интервалы варьирования представлены в таблицах 1 и 2.

Обработка результатов эксперимента позволила вычислить коэффициенты регрессии [10].

Для системы $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2)$ зависимость охлаждающего действия от состава адекватно описывается линейным уравнением (в натуральных координатах)

$$Q_{\text{охл}} = 1480 - 15 \cdot \omega(\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2) + 36 \cdot \omega(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4. \quad (1)$$

Таблица 1 - Матрица планирования эксперимента по изучению влияния концентраций $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7 \text{SiO}_2$ (ω_1) и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (ω_2) на охлаждающее действие $Q_{\text{охл}}$ ГОС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7 \text{SiO}_2$

Уровень и интервал варьирования факторов	$\omega_1, \%$	$\omega_2, \%$	$Q_{\text{охл}}, \text{кДж/кг}$		
			$Q_{\text{охл}}(1)$	$Q_{\text{охл}}(2)$	$Q_{\text{охл}}(\text{ср})$
Нулевой уровень	18	26			
Интервал варьирования	10	14			
Верхний уровень	28	40			
Нижний уровень	8	12			
Опыты					
1	-	+	2890	2750	2820
2	+	+	2450	2580	2525
3	-	-	1740	1860	1800
4	+	-	1430	1550	1490

Таблица 2 - Матрица планирования эксперимента по изучению влияния концентраций $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7 \text{SiO}_2$ (ω_1) и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (ω_2) на охлаждающее действие $Q_{\text{охл}}$ ГОС $(\text{MgCl}_2(4 \%), (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) + (\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7 \text{SiO}_2)$

Уровень и интервал варьирования факторов	$\omega_1, \%$	$\omega_2, \%$	$Q_{\text{охл}}, \text{кДж/кг}$		
			$Q_{\text{охл}}(1)$	$Q_{\text{охл}}(2)$	$Q_{\text{охл}}(\text{ср})$
Нулевой уровень	16	24			
Интервал варьирования	12	12			
Верхний уровень	28	36			
Нижний уровень	4	12			
Опыты					
1	-	+	2730	2750	2740
2	+	+	2410	2530	2470
3	-	-	1750	1930	1840
4	+	-	1430	1390	1410

Для системы $(\text{MgCl}_2(4 \%), (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) + (\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7 \text{SiO}_2)$ соответствующая зависимость имеет вид

$$Q_{\text{охл}} = 1476 - 21 \cdot \omega(\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7 \text{SiO}_2) - 36 \cdot \omega(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 0,28 \cdot \omega(\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7 \text{SiO}_2) \cdot \omega(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \quad (2)$$

Воспроизводимость процесса ~~проверка~~ по критерию Кохрена. Проверка адекватности модели ~~выполнена~~ с помощью критерия Фишера. При этом для $(\text{MgCl}_2(4 \%), (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) + (\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7 \text{SiO}_2)$ был

поставлен дополнительный эксперимент при значениях факторов находящихся на нулевом уровне.

Как видно из соотношений 1 и 2, увеличение концентрации сульфата аммония приводит к соответствующему увеличению охлаждающего действия. Этот факт был ранее установлен на основе термодинамических расчётов в работе [4]. Анализ этих уравнения также позволяет заключить, что увеличение концентрации силикатной составляющей приводит к уменьшению охлаждающего действия ГОС.

Из всех, изученных ГОС, наибольшим охлаждающим действием обладает система $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2$ (8 %) + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (40 %). Несколько уступает ей система $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2$ (4 %) + $(\text{MgCl}_2$ (4 %), $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (36 %)). Охлаждающее действие последних систем на 40 % превосходит соответствующие характеристики для системы CaCl_2 (14,4%) + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2$ (13%) и более чем в 2 раза для воды.

Выводы. При температуре 400 °С экспериментально изучено охлаждающее действие гелеобразующих составов содержащих в качестве компонента сульфат аммония. Получены уравнения регрессии, связывающие охлаждающее действие и концентрации компонентов ГОС. Установлено, что для огнетушащих гелеобразующих систем $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2$ + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2$ + $(\text{MgCl}_2$ (4 %), $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) охлаждающее действие возрастает с ростом содержания сульфата аммония. С увеличением содержания силикатной составляющей охлаждающее действие убывает. Из всех, изученных ГОС, наибольшим охлаждающим действием обладает система $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2$ (8 %) + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (40 %).

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент. 60882 Україна, МКІ 7А62С1/00. Спосіб 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.
2. Патент 2264242 Російська федерація. МПК7 А62С, 5/033.Спосіб тушення пожежі і склад для його здійснення 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.
3. Тарахно О.В., Шаршанов А.Я. Фізико-хімічні основи використання води в пожежній справі. Харків, 2004. – С252.
4. Киреев А.А., Тарасова Г.В., Жерноклёв К.В. Выбор компонентов жидкофазных огнетушащих систем с повышенным охлаждающим действием // Вестник национального техниче-

ского университета «ХПИ», «Химия, химическая технология и экология». – Харьков.–2007.–№ 31 С.–7–14.

5. Киреев А.А. Экспериментальное исследование охлаждающего действия гелеобразующих огнетушащих составов // Проблемы пожарной безопасности.– 2007.– вып.22.– С.87-93.
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. Харків: ХДТУБА. 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». Харьков: НТУ «ХПИ».– 2006.– С.65-70.
8. Киреев А.А. Термогравиметрические исследования огнетушащих и огнезащитных гелей // Проблемы пожарной безопасности. Харьков: УГЗУ.– 2006.– вып. 20. – С.81-85.
9. Практикум по физической химии /Каретников Г.С., Козырева Н.А., Кудряшов И.В. М.: Высш. школа, 1986.– 495 с.
10. Винарский В.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технических исследованиях. Киев: Техника, 1975.– 168 с.

Статья поступила в редакцию 12.02.2008 г.