

А.А. Киреев, д.т.н., доцент, НУГЗУ,  
С.Н. Бондаренко, к.т.н., доцент, НУГЗУ,  
А.Я. Шаршанов, к.ф.-м.н., доцент, НУГЗУ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ГЕЛЕОБРАЗНЫХ СЛОЁВ, НАНЕСЕННЫХ НА РЕЗИНУ

Приведены результаты экспериментального исследования времени воспламенения образцов резины, обработанных гелеобразующими составами  $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ . Получено регрессионное уравнение, описывающее влияние состава этой системы и толщины гелеобразного слоя на время её воспламенения.

**Ключевые слова:** воспламенение резины, гелеобразующие системы, огнезащитное действие, регрессионное уравнение.

**Постановка проблемы.** Защита различных материалов, находящихся в зоне теплового воздействия пожара является одним из основных видов боевых действий оперативно-спасательных подразделений ГСЧС. Такой вид огнезащиты, в отличие от постоянной огнезащиты, называют временной или оперативной огнезащитой. Большая часть пожаров и возгораний, возникающих на Украине, ликвидируются с использованием воды. Вода как огнезащитное средство имеет существенный недостаток - большая часть воды легко стекает, не задерживаясь на защищаемых поверхностях. Это приводит к тому, что один и тот же объект необходимо многократно обрабатывать водой.

Значительными преимуществами в осуществлении оперативной огнезащиты обладают гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные системы (ГОС) [1-3]. Они проявляют многоплановую защиту от воспламенения. На начальном этапе (до момента испарения воды) они реализуют своё охлаждающее действие. После испарения воды образуется сплошной слой ксерогеля, который проявляет теплоизолирующие свойства. Кроме того, при введении в состав ГОС ингибиторов горения они могут проявлять ингибирующее действие.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Ранее были исследованы огнезащитные свойства гелевых слоёв по отношению к древесине [4]. Также в работе [5] были определены факторы, влияющие на огнезащитные свойства разных гелей по отношению к резине. Было установлено, что на поверхности резины при воздействии пламени наиболее прочно удерживаются гели системы  $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ . Также были определены времена воспламенения образцов резины обработанных двумя ГОС:  $\text{CaCl}_2(20\%) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(20\%)$  и  $\text{CaCl}_2(10\%) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(10\%)$ .

**Постановка задачи и её решение.** Целью работы является установление количественной взаимосвязи огнезащитного действия гелевых слоёв, нанесённых на резину от состава ГОС  $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$  и

толщины огнезащитного слоя.

Результаты ранее проведённых экспериментальных исследований [5] позволили установить основные факторы, влияющие на огнезащитные свойства гелевых слоёв. Такими факторами являются: концентрации  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$  и  $\text{CaCl}_2$ , а также толщина огнезащитного слоя. Для установления количественных зависимостей времени воспламенения от этих факторов были проведены экспериментальные исследования с использованием методов математического планирования эксперимента [6]. Для этого был использован центральный композиционный рототабельный план. Уровни варьирования факторов выбирались с учётом следующих условий:

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

– максимальная толщина огнезащитного слоя ограничена значением, при котором наблюдалось существенное отслаивания гелеобразного покрытия в процессе огневого воздействия.

Уровни варьирования факторов по плану полного факторного эксперимента представлены в табл. 1.

**Табл. 1. Уровни варьирования факторов в эксперименте по исследованию огнезащитных свойств гелей на поверхности резины**

Факторы	Кодовое обозначение	Нулевой уровень $x_i = 0$	Интервал варьирования	Максимальный уровень $x_i = 1$	Минимальный уровень $x_i = -1$
Концентрация $\text{CaCl}_2$ , %	$x_1$	20	15	35	5
Концентрация $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ ,	$x_2$	15	10	25	5
Толщина слоя, мм	$x_3$	2,5	1,5	4	1

В качестве количественной характеристики огнезащитных свойств гелей было использовано время воспламенения обработанных гелями образцов резины ( $\tau$ ). Для этого была использована лабораторная установка, разработанная ранее для изучения времени повторного воспламенения твердых горючих материалов [7].

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 5 см). В средней части прибора установлены ограничивающие стенки из нержавеющей стали. Выше установлены два экрана для отвода горячих газов и дыма. В экранах имеются отверстия диаметром 5 мм для пропуска проволоки, на которой подвешивается испытуемый образец. 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 температура в месте установки термпары при отсутствии образца составляла  $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$ .

Для проведения эксперимента были выбраны образцы резины размером (6×5×1) см. Они вырезались из автомобильных шин. За время воспламенения принималось время от начала огневого воздействия до воспламенения всей поверхности нижней грани образца. Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Табл. 2. Результаты эксперимента по исследованию огнезащитных свойств гелей на поверхности резины

№	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	τ, с
1	-	-	-	190
2	+	-	-	170
3	-	+	-	160
4	+	+	-	200
5	-	-	+	520
6	+	-	+	430
7	-	+	+	1190
8	+	+	+	790
9*	0	0	0	430
9*	0	0	0	440
9*	0	0	0	510
9*	0	0	0	490
9*	0	0	0	470

\* – центр плана

Процедуры расчёта описаны ранее в работе [8]. В результате обработки результатов эксперимента получено уравнение, описывающее зависимость времени воспламенения от состава ГОС и толщины слоя геля в кодированных координатах

$$\tau = 455,75 - 59,29 \cdot x_1 + 128,25 \cdot x_2 + 275,75 \cdot x_3 - 64,25 \cdot x_1 \cdot x_3 + 128,25 \cdot x_2 \cdot x_3 - 46,75 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (1)$$

Проверка адекватности полученной модели по критерию Фишера дала положительный результат.

Анализ выражения (1) показал, что максимальное значение функция (1) достигает на границе области определения. Для проверки этой гипотезы была проведена процедура пошагового перебора по всем трем координатам. В результате расчетов установлено, что максимальное значение функция (1) достигает при следующих значениях кодированных переменных:  $x_1=-1$ ,  $x_2=1$ ,  $x_3=1$ , что соответствует следующим значениям натуральных переменных: 5 %, 25 % и 4 мм.

**Выводы.** На основании экспериментальных исследований времени воспламенения образцов резины, обработанных гелеобразующими составами  $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$  получено регрессионное уравнение, описывающее влияние состава этой системы и толщины гелеобразного слоя на время её воспламенения. Установлено, что наилучшие огнезащитные свойства обеспечивает ГОС с концентрациями хлорида кальция 5 %, жидкого стекла 25 % и толщиной огнезащитного слоя 4 мм.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов П.Ф. Патент 2264242 Российская федерация. МПК7 А62С, 5/033. Способ тушения пожара и состав для его осуществления / П.Ф. Борисов, В.Е. Росоха, Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев, А.В. Бабенко // Заявка №2003237256/12. Заявл. 23.12.2003, Опубл. 20.11.2005, Бюл. № 32.
2. Абрамов Ю.О. Дослідження впливу товщини шару гелю на його вогнегасні властивості / Ю.О. Абрамов, О.О. Кіреєв, О.М. Щербина // Пожежна безпека. – 2006. – № 8, – С. 159-162.
3. Абрамов Ю.А. Термогравиметрические исследования огнезащитного действия на древесину гелей системы  $MgCl_2 + Na_2O \cdot 2,7 SiO_2$  / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев, О.Н. Щербина // Пожежна безпека. – 2006. – № 9. – С. 42-46.
4. Кіреєв О.О. Вогнезахисні властивості силікатних гелеутворюючих систем. / Кіреєв О.О. // Науковий вісник будівництва. – 2006. – Вып. 37. – С. 188-192.
5. Каракулін А.Б. Исследование огнезащиты резины гелеобразными слоями / А.Б. Каракулин, А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв, Т.П. Нат // Проблемы пожарной безопасности. – 2014. – Вып. 36. – С. 96-102. – Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Ppb\\_2014\\_36\\_19.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Ppb_2014_36_19.pdf).
6. Винарский В.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / В.С. Винарский, М.В. Лурье. – Киев: Техника, 1975. – 168 с.
7. Абрамов Ю.А. Влияние гелеобразных слоёв на время повторного воспламенения древесины / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев, О.Н. Щербина // Пожежна безпека. – 2007. – № 10. – С. 88-91.
8. Киреев А.А. Исследование повторного воспламенения древесины, обработанной гелеобразующими составами / А.А. Киреев, С.Н. Бондаренко // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – Вып. 25. – С. 65-72.

О.О. Кіреєв, С.М. Бондаренко, А.Я. Шаршанов

**Дослідження вогнезахисних властивостей гелеподібних шарів, що нанесено на гуму**

Наведено результати експериментального дослідження часу займання зразків гуми, що оброблено гелеутворюючими складами  $CaCl_2 + Na_2O \cdot 2,7SiO_2$ . Отримано регресійне рівняння, що описує вплив складу цієї системи і товщини гелеподібного шару на час її займання.

**Ключові слова:** займання гуми, гелеутворюючі системи, вогнезахисна дія, регресійне рівняння.

A.A. Kireev, S.N. Bondarenko, A.Ya. Sharsanov

**Research flame retardant properties of the gel-like layers deposited on rubber**

The results of the experimental study time ignition samples rubber, by gel-forming compositions  $CaCl_2 + Na_2O \cdot 2,7SiO_2$ . An regression equation describing the impact that system and gel-like layer thickness at the time of ignition.

**Keywords:** fire rubber, gel-forming systems, fireproof performance, regression equation.