

*А.Б. Каракулин, адъюнкт, НУГЗУ,  
А.А. Киреев, к.х.н., доцент, НУГЗУ,  
К.В. Жерноклёв, к.х.н., доцент, НУГЗУ,  
Т.П. Нат, ст. преподаватель, ХНУГХ им. А.Н. Бекетова*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТЫ РЕЗИНЫ ГЕЛЕОБРАЗНЫМИ СЛОЯМИ**

(представлено д-ром техн. наук Андроновым В.А.)

Рассмотрена оперативная огнезащита резины гелеобразными слоями. Экспериментально определены потеря массы защищённых гелями образцов резины и температура дымовых газов во время прямого воздействия открытого пламени. Проведено сравнение огнезащитных характеристик гелевых слоёв по отношению к резине и древесине.

**Ключевые слова:** огнезащита резины, гелеобразующие системы, потеря массы, температура дымовых газов.

**Постановка проблемы.** Одним из наиболее распространённых полимерных материалов является резина. Её используют при изготовлении автомобильных шин, обуви, одежды, труб, прокладок, клапанов и других резинотехнических изделий. Одним из недостатков резины является её высокая горючесть. При горении резины температура пламени может достигать (1500-1700) °С, что значительно превышает соответствующую величину для такого распространённого материала как древесина. Массовая скорость выгорания резины превышает соответствующую характеристику для древесины в два раза [1]. Всё это приводит к большим трудностям при тушении резины.

При выборе огнетушащего вещества (ОВ) большое значение имеет характер его взаимодействия с горючим материалом. Так большинство полимерных материалов, в том числе и резина, гидрофобны, благодаря чему они плохо смачиваются и пропитываются водой. Большая часть воды стекает с поверхности резины, даже в случае если поверхность горючего материала близка к горизонтальной. Последний факт объясняет низкую эффективность воды как огнетушащего вещества для резины. Для тушения резины согласно существующим нормативным положениям [2] используют тонкораспыленную воду, воду со смачивателем, низко и среднекратную пену, порошки (АВС). Однако удельные расходы, отмеченных выше огнетушащих веществ, на тушение резины значительно превосходят показатели для большинства других твёрдых горючих веществ.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Ранее для повышения эффективности пожаротушения и оперативной огнезащиты были

предложены огнетушащие и огнезащитные гелеобразующие системы (ГОС) [3]. Они представляют собой два отдельно хранимых и отдельно-одновременно подаваемых состава. Первый состав представляет собой раствор гелеобразующего компонента. Второй состав – раствор катализатора гелеобразования. При одновременной подаче двух растворов они смешиваются на горящих или защищаемых поверхностях. Между компонентами растворов происходит взаимодействие, приводящее к образованию стойкого геля. Гель образует на поверхности нетекущий огнезащитный слой, который надёжно удерживается на вертикальных и наклонных поверхностях. Преимущество ГОС перед водой заключается в существенном уменьшении потерь огнетушащего вещества за счет отсутствия стекания с наклонных и вертикальных поверхностей.

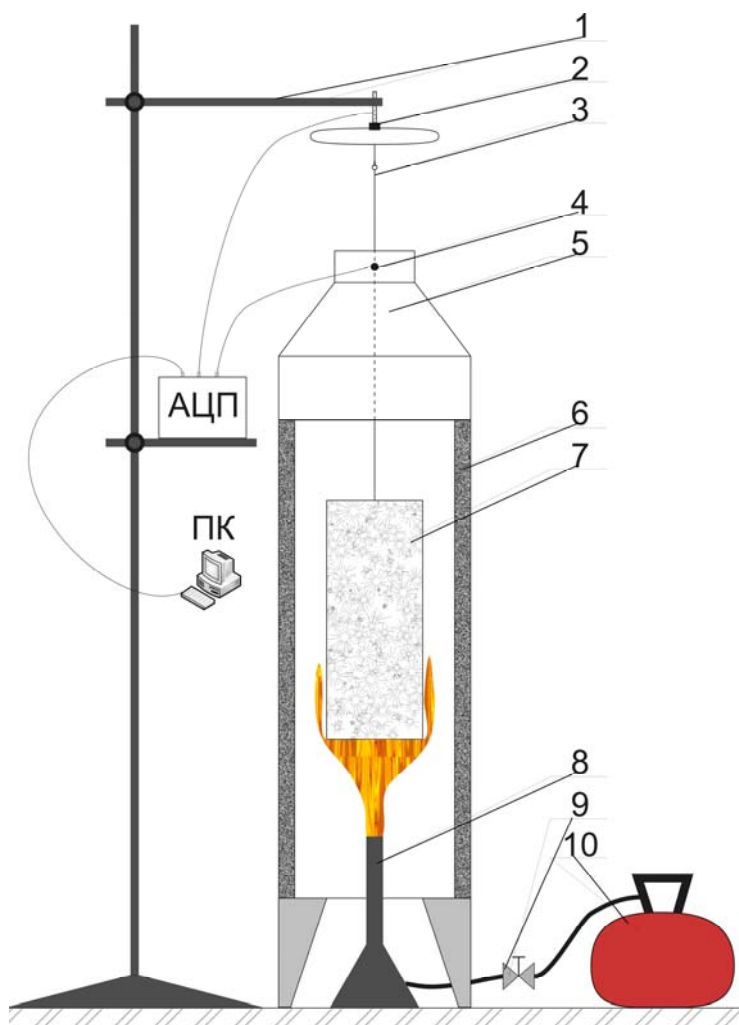
Оперативные огнезащитные свойства гелеобразных слоёв были определены для древесины и целлюлозосодержащих материалов (древесноволокнистые и древесностружечные плиты). Оперативные огнезащитные свойства гелевых слоёв для резины до настоящего времени не были определены.

**Постановка задачи и её решение.** Целью работы является экспериментальное определение оперативных огнезащитных свойства гелевых слоёв, нанесённых на поверхность резины. В качестве характеристик огнезащитных свойств гелей целесообразно использовать время воспламенения и массовую скорость выгорания обработанных гелями образцов резины. Также необходимо изучить поведение гелевых слоёв на поверхности резины при огневом воздействии. Таковую возможность представляет лабораторная установка, разработанная ранее для изучения времени повторного воспламенения твердых горючих материалов [4].

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. На лицевой стенке укреплен термомпара. 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. В верхней части лабораторной установки на теплоизолированной подставке устанавливаются весы непрерывного взвешивания ТНВ–600 (точность взвешивания – 0,01 г, время реакции весов на изменение массы – 1,5 с). Схема лабораторной установки приведена на рис. 1.

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 термомпары при отсутствии образца составляла  $(100 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

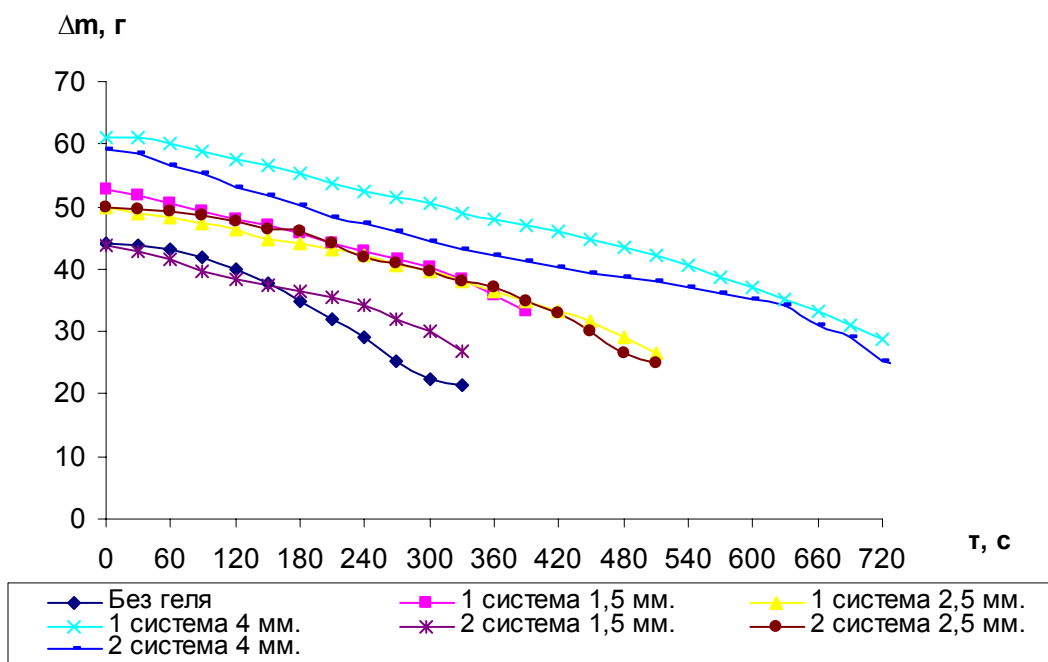
Для проведения эксперимента были выбраны образцы резины размером (6×5×1) см. Они вырезались из автомобильных шин. После начала огневого воздействия начиналась фиксация его массы через равные промежутки времени (30 с). Точность взвешивания с помощью динамометра из системы ИТМ составляла 0,01 г.



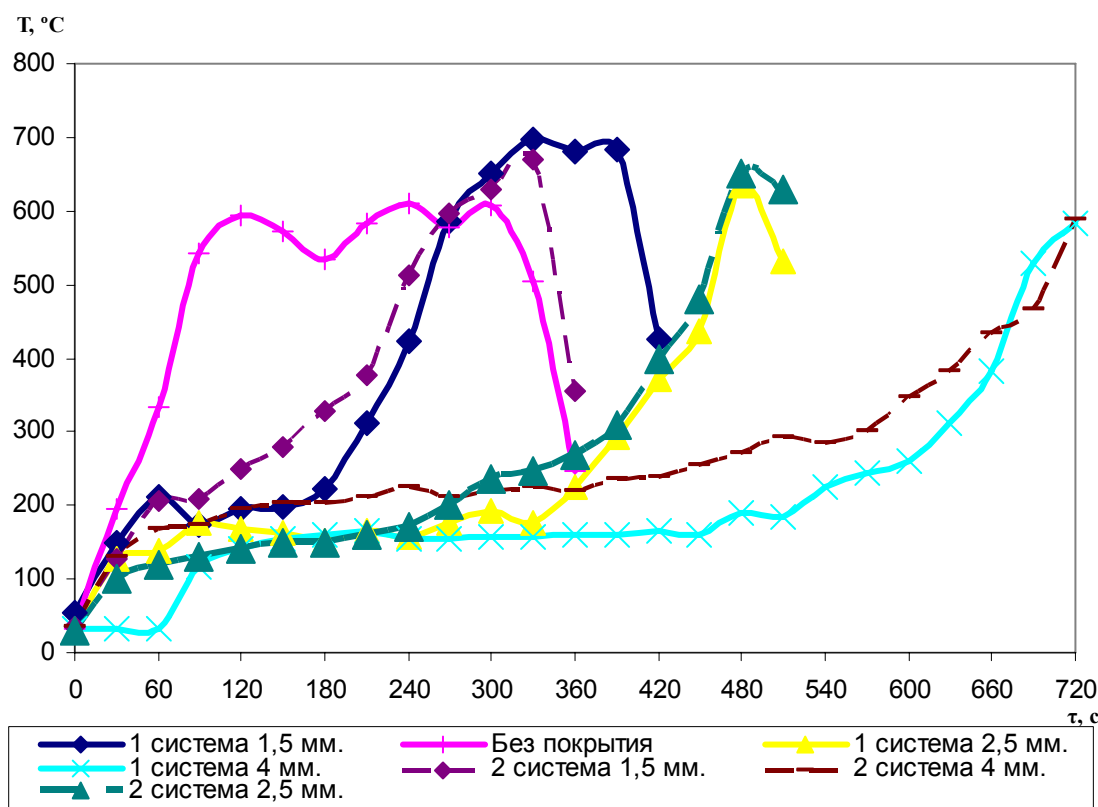
**Рис. 1. Установка для термогравиметрических исследований эффективности огнезащиты средств для огнезащиты древесины: 1 – штатив; 2 – датчик-динамометр; 3 – стальная нить для подвеса образца; 4 – датчик-термопара; 5 – зонтик; 6 – стенка установки; 7 – образец материала; 8 – горелка; 9 – регулятор подачи газа; 10 – газовый баллон; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; ПК – персональный компьютер**

На рис. 2 приведены зависимости изменения массы образцов и от времени экспозиции в пламени, а на рис. 3 зависимости изменения температуры дымовых газов от времени экспозиции в пламени.

Слой геля наносился путем распыливания компонентов гелеобразующей системы на образцы резины. Методика распыливания приведена в литературе [6]. Толщина слоя геля определялась весовым методом. Плотность геля определялась также гравиметрически.



**Рис. 2. Зависимости изменения массы образцов и от времени экспозиции в пламени**



**Рис. 3. Зависимости изменения температуры дымовых газов от времени экспозиции в пламени**

Изменение температуры даёт возможность судить о протекании экзо- или эндотермических процессов, а потеря массы, согласно

ГОСТ 16363, является основным фактором оценки огнезащитной эффективности покрытий. Таким образом, были исследованы оперативные огнезащитные свойства гелеобразных слоёв системы  $\text{CaCl}_2(20\%)+\text{Si}(20\%)$  при разных толщинах.

Анализ результатов термогравиметрического эксперимента позволил установить следующее:

– время воспламенения незащищённого образца резины при прямом огневом воздействии составляет 0,55 минут

– время воспламенения образцов резины огнезащищенных гелевыми слоями возрастает с ростом толщины слоя геля и достигает (8-9) минут для слоя 4 мм;

– время максимального огнезащитного действия мало зависит от состава ГОС.

Массовая скорость выгорания определялась как в работе [1].

**Табл. 1. Времена воспламенения ( $\tau$ ) и массовая скорость выгорания ( $\nu$ ) для образцов резины огнезащищённой ГОС  $\text{CaCl}_2(10\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(10\%)$  (система 1) и ГОС  $\text{CaCl}_2(20\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(20\%)$  (система 2) для разных толщин ( $l$ ) гелевого слоя**

Система		1			2		
$l, \text{ мм}$	0	1,5	2,5	4,0	1,5	2,5	4,0
$\tau, \text{ мин}$	0,55	2,2	3,6	9,1	1,9	2,5	8,5
$\nu, \text{ г}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$	16,0	7,2	6,0	6,3	7,7	8,1	9,3

Сопоставление визуальных наблюдений и результатов термогравиметрического эксперимента позволило установить, что воспламенению всей поверхности огнезащищенного и незащищенного образца резины соответствует температура дымовых газов ( $285 \pm 20$ ) °С. После воспламенения всей поверхности образца температура дымовых газов продолжает возрастать и достигает (600–700) °С. Через (1,5–2,5) минуты после достижения максимальной температуры начинается растрескивание всего образца резины с отделением сначала мелких, а затем крупных фрагментов образца. Также установлено, что слой геля по мере испарения воды, начинает растрескиваться и со временем всё больше обсыпаться. В местах отслаивания крупных фрагментов геля в течение (0,5-1,0) минут начинается пламенное горение. К моменту достижения максимальной температуры дымовых газов более 50% геля обсыпается.

Такое поведение гелеобразных слоёв на поверхности резины существенно отличается от их поведения на поверхности древесины [7-9]. Так гелевые покрытия на образцах древесины толщиной 1-3 мм растрескивались незначительно, отслаивание небольших по

размеру фрагментов покрытия наблюдалось только в 20% случаев.

Деревянные образцы, покрытые гелеобразными слоями толщиной более 3 мм, обычно не воспламенялись. В ряде случаев наблюдались слабые локальные язычки пламени в местах прорыва газообразных продуктов термодеструкции древесины, которые в течение 10-20 с исчезали. Опыты со слоями огнезащитных гелей более 3,5 мм продолжались до 1 часа, но пламенное горение таких образцов не наступало. Изучение древесины под слоем огнезащитного ксерогеля (высушенного геля) обнаружило почти полностью закарбонизованный остаток исследуемого образца.

Сопоставление результатов экспериментов для резины и древесины позволяет заключить следующее. В условиях прямого воздействия пламени воспламенение резины наступает через ~1,5 минуты, тогда как древесина начинает гореть через 0,5 минуты. Через 2,5 минуты горит вся поверхность резины. Вся поверхность древесины горит через время меньшее 1 минуты. Массовая скорость выгорания рассматриваемых материалов рассчитывалась с момента воспламенения всей поверхности. При этом зависимости потери массы от времени в этих временных интервалах близки к линейным.

Массовая скорость выгорания резины составила  $0,97 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{мин}^{-1}$ , а древесины  $0,45 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{мин}^{-1}$ . Особенностью горения образцов резины является их постепенная дефрагментация через (4-4,5) минуты после начала огневого воздействия. Температура пламени при горении резины превышает соответствующую температуру для древесины на (150-250)°С.

**Выводы.** Обработка образцов резины слоями гелей обеспечивает повышение времени воспламенения этих образцов до (8-9) мин. При этом массовая скорость выгорания резины уменьшается в 2-3 раза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Киреев А.А. Экспериментальное определение массовой скорости выгорания резины / Киреев А.А., Каракулин А.Б. // Проблемы пожарной безопасности. – 2014. – Вып. 35. – С.82-87. – Режим доступа до журн.: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol35/kiriluk.pdf>.

2. Баратов А.Н. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочное издание. Кн 1. / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко. – М.: Химия, 1990. – 496 с.

3. Киреев А.А. Экспериментальное определение охлаждающего действия гелеобразующих огнетушащих составов / А.А. Киреев // Проблемы пожарной безопасности. – 2007. – Вып. 22 – С. 87-93.

4. Киреев А.А. Исследование повторного воспламенения древесины, обработанной гелеобразующими составами / А.А. Киреев, Исследование огнезащиты резины гелеобразными слоями

С.Н. Бондаренко // Проблемы пожарной безопасности. – 2009.– Вып. 25. – С. 65-72.

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

6. Александров А.В. Исследование влияния поверхностно-активных веществ на огнезащитные свойства гелеобразующих систем / А.В. Александров, Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев // Проблемы пожарной безопасности.– 2006.– Вып. 19. – С. 14-18.

7. Абрамов Ю.О. Дослідження впливу товщини шару гелю на його вогнезахистні властивості / Ю.О. Абрамов, О.О Кіреєв // Пожежна безпека. –2006.– №8.– С. 159-162.

8. Абрамов Ю.А. Термогравиметрические исследования огнезащитного действия на древесину гелей системы  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2 - \text{MgCl}_2$  / Ю.А. Абрамов, А.А Киреев, О.Н. Щербина // Пожежна безпека. – 2006. – №9.– С. 42-47.

9. Кіреєв О.О. Вогнезахистні властивості силікатних гелеутворюючих систем / О.О. Кіреєв // Науковий вісник будівництва. – 2006. – Вип. 37. – С. 188-192.

О.Б. Каракулин, О.О. Киреев, К.В. Жернокльов, Т.П. Нат

#### **Дослідження вогнезахисту гуми гелевидними шарами**

Розглянута оперативний вогнезахист гуми гелевидними шарами. Експериментально визначені втрата маси захищених гелями зразків гуми і температура димових газів під час прямого впливу відкритого полум'я. Проведено порівняння вогнезахисних характеристик гелевих шарів по відношенню до гуми та до деревини.

**Ключові слова:** вогнезахист гуми, гелеутворюючі системи, втрата маси, температура димових газів.

O.B. Karakulin, O.O. Kireiev, K.V. Zhernoklov, T.P. Nat

#### **Research of flameproof rubber gelling layers**

It is considered operational fire protection of rubber by gelatinous layers. Experimentally it is determined mass loss of protected by gels rubber samples and the flue gas temperature at the time of direct exposure to open flame. A comparison of the characteristics of flame-retardant gel layers with respect to the rubber and wood is conducted.

**Keywords:** fireproofing rubber, gelling systems, loss of weight, temperature of the flue gases.