

*А.А. Киреев, к.х.н., доцент, НУГЗУ,
В.Ю. Купка, зам. нач. курса, НУГЗУ,
К.В. Жерноклёв, к.х.н., доцент, НУГЗУ*

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ГЕЛЕВЫХ СЛОЁВ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

(представлено д-ром техн. наук Басмановым А.Е.)

Для повышения эффективности тушения горючих жидкостей предложено применение гелеобразующих огнетушащих систем. Установлена возможность тушения пожаров класса «В» путем использования гелеобразующих составов. Рассмотрены варианты обеспечения плавучести гелеобразных слоёв.

Ключевые слова: пожары класса В, гелеобразующие огнетушащие системы, стойкость гелевых слоёв.

Постановка проблемы. Проблема эффективного тушения пожаров класса «В» до настоящего времени остаётся одной из наиболее актуальных в пожаротушении. Наиболее эффективными средствами тушения таких пожаров являются водопенные огнетушащие средства [1]. Доминирующим механизмом огнетушащего действия пен является изоляция горючего вещества от зоны горения. По этому показателю пены превосходят другие традиционные средства пожаротушения.

Существенным недостатком огнетушащих пен является их низкая устойчивость. Так известно, что пены разрушаются при подаче, особенно на большие расстояния. Также пены разрушаются под действием теплового излучения от факела пламени и при контакте с нагретыми элементами конструкции резервуаров, в которых хранятся горючие жидкости. Существенным недостатком пен является их невысокая изолирующая способность. Так при тушении легковоспламеняющихся жидкостей для обеспечения надежной изоляции необходимо обеспечить нанесение по всей поверхности горячей жидкости пены толщиной ~10 см [2], а в ряде случаев до 50 см [3]. Ещё одним недостатком пен является их ограниченные возможности растекаться по поверхности горючей жидкости, для большинства пен этот показатель составляет (20–25) м.

Частично проблему малой устойчивости воздушно-механической пены и её невысоких изолирующих свойств решает применение низкократных пен на основе пленкообразующих пенообразователей [1]. При использовании таких пенообразователей тушение происходит в основном за счет изоляции поверхности горючей жидкости пленкой водного раствора пленкообразующего пенообразователя. Такая пленка, несмотря на большую плотность, чем у горючей жидкости за счёт поверхностных эффектов приобретает способность удерживаться на поверхности жидкости.

К недостаткам пленкообразующих пенообразователей относится

их высокая стоимость и токсичность продуктов термодеструкции. В целом можно заключить, что применение плёнкообразующих пенообразователей позволило повысить эффективность пожаротушения горючих жидкостей. Однако опыт практического тушения пожаров класса «В» показывает, что в значительном числе случаев применение таких пенообразователей не в полной мере отвечает предъявляемым требованиям.

Анализ последних исследований и публикаций. Большей части этих недостатков лишены гелеобразующие огнетушащие составы (ГОС) [4]. Гелеобразные слои, образующиеся на поверхности горючего материала, обладают высокой изолирующей способностью и устойчивостью к действию тепловых воздействий. Однако при подаче компонентов ГОС на поверхность жидкостей большая часть геля быстро тонет в большинстве горючих жидкостей.

Ранее были предприняты попытки совместить процесс гелеобразования и пенообразования путём использования пенообразующих систем с внешним пенообразованием (ПОС) [5-6]. Компоненты системы подбирались так, чтобы при их взаимодействии одновременно образовывался гель и выделялся газ. При этом предполагалось, что образуется газонаполненный гель, плотность которого будет меньше чем горючей жидкости. Таким способом удалось уменьшить долю тонущего геля. При большой интенсивности подачи компонентов огнетушащей системы удавалось получить слой геля на всей поверхности бензина. Однако после прекращения подачи компонентов огнетушащей системы слой геля постепенно разрушался и тонул.

Также была исследована возможность нанесения слоя геля на поверхность пены, поданной на поверхность горючей жидкости. В качестве горючей жидкости был использован бензин А-76, в качестве пенообразователя использовался пенообразователь – ТЭАС. При этом использовались четыре ГОС $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2(5\%)+\text{CaCl}_2(5\%)$, $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2(5\%)+\text{MgCl}_2(5\%)$, $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2(5\%)+\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(5\%)$, $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2(15\%)+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(15\%)$ [7]. Экспериментально установлено, что возможно нанесения слоя геля на поверхность жидких горючих веществ, если предварительно на поверхность жидкости нанести слой пены. В случае если толщина слоя пены превышает 2 см, а толщина слоя геля 2 мм, гель сохраняет свою целостность до 15 минут. В качестве пенообразователя использовался пенообразователь – ТЭАС.

Для изученных систем целостность гелевого слоя сохранялась такое время в случае обеспечения равномерности нанесения, как слоя пены, так и слоя геля. В местах меньшей толщины слоя пены и большей толщины слоя геля гель постепенно погружался в слой пены и через 2-3 минуты происходил его разрыв. Так как в реальных условиях тушения пожара трудно добиться равномерности толщины слоёв пены и геля требуется повторное нанесение новых слоёв огнетушащих веществ.

Постановка задачи и ее решение. Задачей работы является исследование условий обеспечения плавучести гелеобразного слоя при

нанесении его на слой твердых веществ с плотность ниже, чем у углеводородных топлив, поданных на поверхность горючей жидкости.

Первоначально в качестве модельной системы была выбрана в качестве жидкости – вода, а в качестве твердого вещества – полые шарики из полистирола диаметром (6–8) мм. В ходе опытов было установлено, что сплошной слой геля образовывался уже при нанесении на воду полистирольных шариков в один слой, при этом небольшие зазоры между шариками надежно заполнялись гелевой композицией.

Такое двухслойное покрытие было устойчиво длительное время (более трех суток) при толщине гелевой составляющей до 5 мм. При увеличении толщины геля свыше этого предела через несколько минут гель притапливался, и на его поверхность просачивалась вода. С увеличением толщины слоя полистирольных шариков увеличивалась и толщина слоя геля, который можно нанести на их поверхность без просачивания воды через гелеобразный слой.

На рис. 1 приведена схема образования двухслойного покрытия на поверхности жидкости, состоящего из одного слоя полистирольных шариков и гелеобразного слоя.

На основании результатов эксперимента можно предложить такую модель плавучести двухслойного покрытия – монослой шариков + слой геля. Свободный объём верхней части слоя шариков заполняется гелем, а нижний свободный объём заполняется водой. Примем, что все гранулы полистирола имеют форму шара и одинаковый диаметр, равный 7 мм. Толщина слоя шариков в таком случае будет равна $h_{ш} = 7$ мм. Из простейших геометрических соображений можно установить, что собственный объём шариков в таком монослое будет составлять 52%, а соответствующий объём пустот 48%.

Условие плавучести бинарного слоя запишется следующим образом:

$$\frac{m_{г} + m_{ш}}{(h_{г} + h_{ш}) \cdot S} < \rho_{ж} , \quad (1)$$

где $m_{г}$, $m_{ш}$, $h_{г}$, $h_{ш}$, S , $\rho_{ж}$ соответственно обозначают массу слоя геля, массу слоя шариков, толщину слоя геля, толщину слоя шариков, площадь поверхности жидкости и плотность жидкости. После подстановки в неравенство (1) масс, выраженных через плотность получим:

$$\frac{h_{г} \cdot \rho_{г} + h_{ш} \cdot (0,52 \cdot \rho_{ш} + 0,24 \cdot \rho_{г} + 0,24 \cdot \rho_{ж})}{h_{г} + h_{ш}} < \rho_{ж} . \quad (2)$$

Выразим из соотношения (2) толщину слоя геля:

$$h_{г} < \frac{h_{ш} \cdot (0,76 \cdot \rho_{ж} - 0,52 \cdot \rho_{ш} - 0,24 \cdot \rho_{г})}{\rho_{г} - \rho_{ж}} . \quad (3)$$

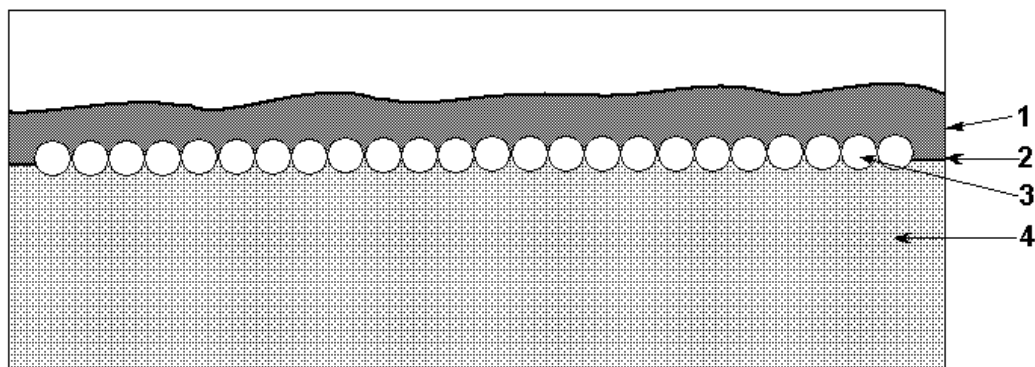


Рис. 1 – Схема образования двухслойного покрытия на поверхности жидкости, состоящего из монослоя полистирольных шариков и гелеобразного слоя: 1 – слой геля; 2 – уровень жидкости; 3 – полистирольные шарики; 4 – водный слой

Для того, чтобы воспользоваться неравенством (3), необходимо знание величин истинной плотности шариков и геля. Они были определены экспериментально весовым методом и составили соответственно 6 кг/м^3 и 1090 кг/м^3 . Также была определена насыпная плотность полистирольных шариков, она составила $3,1 \text{ кг/м}^3$.

Для монослоя полистирольных шариков диаметром 7 мм условием плавучести бинарного слоя будет неравенство $h_r < 5,5 \text{ мм}$, что хорошо согласуется с экспериментально определённым значением 5 мм.

Также было экспериментально изучена возможность получения устойчивого гелевого слоя на поверхности бензина А–76. В качестве твердых материалов с низкой плотностью были выбраны устойчивые к бензину вспученные перлит и вермикулит с размерами гранул – (1,5–2,5) мм. При нанесении монослоя вспученных материалов на поверхность бензина удалось получить устойчивый бинарный слой с толщиной гелевой прослойки $\sim 1 \text{ мм}$. Это объясняется более высокой плотности вспученных материалов по сравнению с пеностирольными шариками и меньшим размером гранул.

Для получения более толстого гелевого слоя необходимо нанести более толстый слой вспученных материалов. Полученные в последнем случае бинарные слои обладали как плавучестью, так и механической устойчивостью. Особенностью таких слоёв на поверхности бензина было постепенное их затопление, что объясняется поглощением бензина открытыми порами вспученных материалов. Процесс потери плавучести в таких случаях длится от нескольких часов до нескольких суток.

Результаты экспериментальных исследований позволяют сделать ряд выводов.

Выводы. Экспериментально установлена возможность нанесения слоя геля на поверхность жидких веществ, если предварительно на поверхность жидкости нанести слой твёрдого материала с меньшей, чем у жидкости плотностью. Устойчивость таких бинарных сло-

ёв может достигать нескольких суток. Предложена модель плавучести двухслойного покрытия, результаты которой согласуются с результатами экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шараварников А.С. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. / А.С. Шараварников, В.П. Молчанов, С.С. Воевода, С.А. Шараварников. – М.: Калан, 2002. – 448 с.
2. Вогнегасні речовини : посібник / [Антонов А.В., Боровиков В.О., Орел В.П. та ін.]. – К. : Пожінформтехніка, 2004. – 176 с.
3. Абдурагимов И.М. О механизме огнетушащего действия средств пожаротушения. / И.М. Абдурагимов // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – т.21, № 4 – С. 60-82.
4. Пат. 2264242 Российская Федерация, МПК⁷ А 62 С 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. ; заявитель и патентообладатель Академия пожарной безопасности Украины. – №2003237256 / 12; заявл. 23.12.2003; опубл. 20.11.10.2005, Бюл. №32.
5. Киреев А.А. Пути повышения эффективности пенного пожаротушения / Киреев А.А., Коленов А.Н. // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – вып.24. – С.50-53.
6. Киреев А.А. Исследование пенообразования в пенообразующих системах. / Киреев А.А., Коленов А.Н. // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – вып.25. – С.59-64.
7. Купка В.Ю. Пути повышения эффективности тушения пожаров класса В. / В.Ю. Купка, А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв // Проблемы пожарной безопасности. – 2012. – вып.31. – С.105-108.

nuczu.edu.ua

Киреев О.О., Купка В.Ю., Жерноклёв К.В.

Дослідження стійкості гелевих шарів на поверхнях горючих рідин

Експериментально встановлено можливість нанесення шару гелю на поверхню рідини, якщо на її поверхню попередньо нанесено шар твердого матеріалу з малою густиною. Стійкість бінарних шарів на поверхнях рідин досягає декількох діб. Запропоновано модель плавучості двох шарових покриттів, результати якої узгоджуються з результатами експерименту.

Ключові слова: пожежі класу В, гелеутворюючі вогнегасні системи, стійкість гелевих шарів.

Kireev A.A., Kupka V.Y., Zhernoklov K.V.

В Study of the stability of gelelike layers on the surface of flammable liquids

Experimentally established the possibility of application layer of gel on the surface of liquid substances, if prior to the surface of liquid apply a layer of solid material with a smaller than that of the fluid density. The stability of such binary layers may reach up to several days. A model of the buoyancy of a two-layer coating, the results of which are consistent with the results of experimental study.

Keywords: the fires of class B, gelforming extinguishing system, stability of gelelike layers.