

*И.Ф. Дадашов, к.т. н., докторант, НУГЗУ,  
А.А. Киреев, д.т.н., профессор, НУГЗУ,  
А.Я. Шаршанов, к.ф.-м.н., доцент, НУГЗУ,  
А.В. Савченко, к.т. н., с.н.с., НУГЗУ,  
А.А. Ковалёв, к.т. н., доцент каф., НУГЗУ*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕЛЕОБРАЗНОГО СЛОЯ НА ЕГО ИЗОЛИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ПО ОТНОШЕНИЮ К ПАРАМ ТОКСИЧНЫХ И ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ**

(представлено д.т.н. Бодянским Э.В.)

Проведено экспериментальное исследование влияния толщины гелеобразного слоя, температуры и времени сушки на его изолирующие свойства по отношению к парам токсичных и горючих жидкостей. Показано, что гелеобразный слой системы  $\text{CaCl}_2(10\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(10\%)$  обладает высокими изолирующими свойствами по отношению к парам органических жидкостей, которые сохраняются на высоком уровне в течение 24 часов.

**Ключевые слова:** чрезвычайные ситуации, локализация, гелеобразующие системы, гелеобразные слои, толщина слоя, изолирующие свойства, пары токсичных и горючих жидкостей.

**Постановка проблемы.** В промышленно развитых странах производятся или находятся в обращении значительные количества опасных химических веществ (ОХВ). При авариях на химически и пожароопасных объектах существует опасность попадания этих веществ в окружающую среду. Основным поражающим фактором при чрезвычайных ситуациях с попаданием опасных химических веществ в окружающую среду является ингаляционное воздействие на людей и животных высоких концентраций паров таких веществ. Еще одним опасным фактором при подобных авариях является создание в воздухе пожаровзрывоопасных концентраций горючих веществ.

Опасные концентрации паров токсичных и горючих соединений могут создавать жидкие вещества. Это требует принятия мер по ликвидации чрезвычайных ситуаций связанных с аварийными утечками и разливами жидких горючих и токсичных веществ. На стадии локализации источника заражения, основной задачей является предотвращение формирования облака зараженного воздуха и недопущение его распространения в атмосфере. Этого можно добиться путем уменьшения скорости испарения жидкости или поглощения её паров различными абсорбентами [1-3]. В большинстве случаев в качестве абсорбентов паров жидкости используют воду. Этот метод реализуется постановкой водя-

ных завес. При отсутствии эффективных абсорбентов можно использовать метод рассеивания парового облака с помощью тепловых потоков или дымососов [2]. В последнем случае общее количество паров токсичной жидкости не уменьшается, а они лишь разбавляются воздухом.

Уменьшить скорость испарения жидкости можно рядом способов. Можно уменьшить площадь испарения токсичной жидкости путём обвалования пролива, сбора жидкой фазы в приямки-ловушки, засыпки пролива сыпучими сорбентами. Также используются методы покрытия зеркала пролива полимерной пленкой, разбавления пролива водой или нейтрализующим раствором, а также введением в жидкую фазу загустителей. Широкое распространение получил метод изоляции поверхности пролитой токсичной жидкости воздушно-механической пеной.

Однако пены как средства изоляции токсичных и горючих жидкостей имеют ряд недостатков:

- существуют трудности с их подачей на большие расстояния;
- пены постепенно разрушаются, особенно при контакте с полярными жидкостями;
- большинство поверхностно-активных вещества (ПАВ), входящих в состав пенообразователей экологически опасны [4-7].

Все вышеперечисленные факторы приводят к увеличению расхода пены и нанесению ущерба окружающей среде. Таким образом, решение проблемы невысокой эффективности воздушно-пенных средств изоляции разливов токсичных и горючих жидкостей может быть достигнуто путем устранения отмеченных выше недостатков.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Для устранения перечисленных недостатков воздушно-механических пен было предложено для целей пожаротушения использовать гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные составы (ГОС) [8]. Гелеобразный слой может выполнять не только огнетушащее действие, а и обеспечивать изоляцию поверхности токсичных жидкостей. Эту способность гелеобразных слоёв было предложено использовать для тушения горючих жидкостей [9]. При этом для обеспечения плавучести слоя геля в горючих жидкостях было предложено использовать лёгкий негорючий носитель – гранулированное пеностекло. Предварительные опыты показали, что бинарный слой пеностекло-гель остаётся стабильным на поверхности бензина в течение нескольких суток.

В ходе проведенных ранее исследований [10] было установлено, что при 20°C минимально возможный сплошной слой геля толщиной (1,3-1,4) мм обеспечивает уменьшение скорости испарения нерастворимых в воде органических жидкостей в ~ 30 раз. Для малорастворимых в воде веществ коэффициент замедления испарения составляет ~ 10. Этот параметр для спиртов составляет  $2,1 \pm 0,5$ . Для других толщин слоя геля и других температур соответствующие исследования не проводились. Не

определено также было изменение изолирующих свойства геля со временем.

**Постановка задачи и её решение.** Целью работы является экспериментальное исследование изолирующих свойств гелеобразных слоёв по отношению к парам токсичных и горючих жидкостей для разных толщин слоя геля и разных температур, а также изменение этого параметра со временем.

В качестве жидкостей были выбраны изопропанол, 1,2-дихлорэтан, бензол и бензин (АИ-92). Для получения слоя геля была, как и ранее, использована ГОС  $\text{CaCl}_2(10\%) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(10\%)$ , которая проявила высокие изолирующие свойства по отношению паров различных неполярных и малополярных жидкостей.

Ход проведения эксперимента описан ранее в работе [10]. В качестве количественной характеристики толщины слоя геля использовалась величина пропорциональная ей – поверхностный расход геля, который определялся как:

$$\Phi = m_{\text{геля}} / S, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь сетки,  $m_{\text{геля}}$  – масса геля, нанесённого на сетку.

В качестве характеристики изолирующих свойств геля был, как и ранее, использован – коэффициент замедления испарения:

$$K = \Delta m_1 / \Delta m_2 . \quad (2)$$

где  $\Delta m_1$  – масса испарившейся жидкости со свободной поверхности жидкости,  $\Delta m_2$  – масса испарившейся жидкости через слой геля.

Коэффициент замедления испарения определялся для трёх температур: 15°C, 20°C и 25°C; трёх поверхностных расходах геля 0,13 г/см<sup>2</sup>, 0,25 г/см<sup>2</sup>, 0,40 г/см<sup>2</sup>. Для установления работоспособности слоя геля во времени коэффициенты замедления испарения определялись сразу после нанесения геля ( $K_1$ ) и через 24 часа после его нанесения ( $K_{24}$ ). Соответствующие результаты представлены для всех изученных жидкостей в таблицах 1–4.

Анализ приведенных экспериментальных данных позволяет заключить, что наибольшие изолирующие свойства гелевый слой проявляет по отношению к веществам плохо растворимым в воде (бензол и бензин). По мере увеличения растворимости, изолирующие свойства геля уменьшаются (1,2-дихлорэтан). Для спиртов коэффициент замедления наименьший.

Вторым результатом анализа является установления факта роста изолирующих свойств геля с увеличением его толщины. Причём для изопропанола этот рост наибольший, а для углеводородных жидкостей наименьший. Дихлорэтан ограничено растворимый в воде занимает

промежуточное положение. В целом это качественно согласуется с результатами моделирования изолирующих свойств гелеобразного слоя по отношению к парам жидкостей представленных в работе [11].

**Табл. 1. Поверхностный расход геля ( $\Phi$ ), коэффициенты замедления испарения ( $K_1$  и  $K_{24}$ ) для разных температур ( $t$ ) для бензола**

t, °C	$\Phi$ , г/см <sup>2</sup>					
	0,13 г/см <sup>2</sup>		0,25 г/см <sup>2</sup>		0,40 г/см <sup>2</sup>	
	$K_1$	$K_{24}$	$K_1$	$K_{24}$	$K_1$	$K_{24}$
15	29	15	33	23	37	32
20	34	16	36	24	37	30
25	33	14	35	24	38	30

**Табл. 2. Поверхностный расход геля ( $\Phi$ ), коэффициенты замедления испарения ( $K_1$  и  $K_{24}$ ) для разных температур ( $t$ ) для бензин (АИ-92)**

t, °C	$\Phi$ , г/см <sup>2</sup>					
	0,13 г/см <sup>2</sup>		0,25 г/см <sup>2</sup>		0,40 г/см <sup>2</sup>	
	$K_1$	$K_{24}$	$K_1$	$K_{24}$	$K_1$	$K_{24}$
15	30	11	35	19	37	28
20	28	10	33	20	37	29
25	31	9,5	34	18	34	26

Еще одним результатом анализа является установление факта уменьшения изолирующих свойств геля со временем. Причём с ростом толщины слоя геля это уменьшение коэффициента замедления испарения со временем существенно для тонких слоёв геля и незначительно для более толстых слоёв. Последний факт помогают объяснить визуальные наблюдения за слоем геля. Во всех случаях кроме изопропанола для тонких слоёв ( $\Phi=0,13$  г/см<sup>2</sup>) наблюдается растрескивание слоя геля за счёт его сушки. Для промежуточной толщины слоя геля ( $\Phi=0,25$  г/см<sup>2</sup>) растрескивание слоя незначительно. И наконец для наибольшей толщины слоя геля ( $\Phi=0,40$  г/см<sup>2</sup>) за 24 часа растрескивание слоя не происходит.

Факт отсутствия растрескивания слоя геля над изопропанолом объясняется неограниченной растворимостью спирта в водной фазе геля. Это приводит к тому, что часть испарившейся воды замещается жидким изопропанолом.

Необходимо также отметить, что температура в интервале (15-25)°C незначительно влияет на коэффициент замедления испарения, что связано с тем, что повышение температуры одновременно увеличивает скорость испарения жидкости со свободной поверхности и скорость её проникновения через слой геля.

**Табл. 3. Поверхностный расход геля ( $\Phi$ ), коэффициенты замедления испарения ( $K_1$  и  $K_{24}$ ) для разных температур ( $t$ ) для 1,2-дихлорэтана**

t, °C	$\Phi$ , г/см <sup>2</sup>					
	0,13 г/см <sup>2</sup>		0,25 г/см <sup>2</sup>		0,40 г/см <sup>2</sup>	
	$K_1$	$K_{24}$	$K_1$	$K_{24}$	$K_1$	$K_{24}$
15	11	5,3	12	7,7	14	12
20	9,1	4,2	11	7,8	12	11
25	9,7	4,6	12	8,4	14	12

**Табл. 4. Поверхностный расход геля ( $\Phi$ ), коэффициенты замедления испарения ( $K_1$  и  $K_{24}$ ) для разных температур ( $t$ ) для изопропанола**

t, °C	$\Phi$ , г/см <sup>2</sup>					
	0,13 г/см <sup>2</sup>		0,25 г/см <sup>2</sup>		0,40 г/см <sup>2</sup>	
	$K_1$	$K_{24}$	$K_1$	$K_{24}$	$K_1$	$K_{24}$
15	1,8	1,4	2,6	2,0	2,8	2,6
20	1,6	1,4	2,5	1,8	2,9	2,7
25	1,7	1,3	2,8	2,1	2,7	2,6

**Выводы.** Гелеобразные слои уменьшают скорость испарения токсичных и горючих органических жидкостей. Наибольшие изолирующие свойства гелевые слои проявляют по отношению к веществам плохо растворимым в воде. По мере увеличения растворимости, изолирующие свойства геля уменьшаются. С увеличением толщины слоя геля увеличиваются и его изолирующие свойства. Со временем изолирующие свойства гелеобразных слоёв уменьшаются значительно для тонких слоёв и в малой степени для толстых слоёв.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Назарова О.О. Пожежогасіння та аварійно-рятувальні роботи. Довідник / О.О. Назаров, М.М. Кулешова. – Х.: АЦЗУ, 2006. – 376 с.
2. Аварії на радіаційно, хімічно та біологічно небезпечних об'єктах. Довідник / Грек А.М., Сакун О.В., Григорєв О.М. та ін. – Х.: ФВП НТУ «ХП», 2012. – 172 с.
3. Довідник рятувальника. / За загальною редакцією В.І. Балогі. – Львів: СПОЛОМ, 2012. – 712 с.
4. Бочаров В.В. Использование перфторированных ПАВ в пенообразователях – «второе пришествие». Галогенорганика с наихудшим сценарием развития для обитателей земли / В.В. Бочаров, М.В. Раевская // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т.22, №10. – С. 75-82.
5. Безродный И.Ф. Экология пожаротушения – пока это только слова / И.Ф. Безродный // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т.22, №6. – С. 85-90.

6. Ivanković T. Surfactants in the environment / T. Ivanković, J. Hrenović // Arh. Hig. Rad. Toksikol. – 2010 – Vol. 61, № 1. – P. 95-110.

7. Olkowska E. Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges / E. Olkowska, Ż. Polkowska, J. Namieśnik // Chem. Rev. – 2011. – Vol. 111, № 9. – P. 5667-5700.

8. Пат. 2264242 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> 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.

9. Дадашов И.Ф. Выбор лёгкого силикатного носителя для гелевого огнетушащего слоя при пожаротушении / И.Ф. Дадашов, А.А. Киреев, Л.А. Михеенко // Керамика: наука и жизнь. – 2016. – № 2. – С. 44-51.

10. Дадашов И.Ф. Экспериментальное исследование изолирующих свойств гелеобразного слоя по отношению к парам органических токсичных жидкостей / И.Ф. Дадашов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2017. – Вып. 25. – С.22-27.

11. Дадашов И.Ф. Моделирование изолирующих свойств гелеобразного слоя по отношению к парам горючих жидкостей / И.Ф. Дадашов, А.А. Киреев, А.Я Шаршанов, А.А. Чернуха // Проблемы пожарной безопасности. – 2016. – Вып. 40. – С.78-83.

*Получено редколлегией 05.09.2017*

І.Ф. Дадашов, О.О. Кіреєв, А.Я. Шаршанов, О.В. Савченко, О.О. Ковальов

**Експериментальне дослідження впливу характеристик гелеподібного шару на його ізолюючі властивості по відношенню до парів токсичних і горючих рідин**

Проведено експериментальне дослідження впливу товщини гелевидного шару, температури і часу сушки на його ізолюючі властивості по відношенню до парів токсичних і горючих рідин. Показано, що гелеподібний шар системи  $\text{CaCl}_2$  (10%) +  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$  (10%) має високі ізолюючі властивості по відношенню до парів токсичних і горючих рідин, які зберігаються на високому рівні впродовж 24 годин. Встановлено, що ізолюючі властивості зростають з ростом товщини шару гелю.

Ключові слова: надзвичайні ситуації, локалізація, гелеутворюючі системи, товщина шару гелю, ізолюючі властивості, пари токсичних і легкозаймистих рідин.

I.F. Dadashov, A. A. Kireev, A.Ya. Sharsyanov, A.V. Savchenko, A.A. Kovalev

**Experimental study of the influence of characteristics of the gel-like layer on its insulating properties in relation to the vapors of toxic and combustible liquids**

An experimental study of the influence of the thickness of the gel-like layer, temperature and drying time on its isolating properties in relation to the vapors of toxic and combustible liquids has been carried out. It has been shown that the gel-like layer of the  $\text{CaCl}_2$  system (10%) +  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$  (10%) has high insulating properties in relation to the vapors of toxic and combustible liquids, which remain at a high level for 24 hours. It has been established that the insulating properties increase with the growth of the thickness of the gel layer.

**Keywords:** emergency situations, localization, gel forming systems, thickness of the gel layer, isolating properties, a pair of toxic and flammable liquids.