

*И.Ф. Дадашов, к.т.н., докторант, НУГЗУ,
Д.Г. Трезубов, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
А.А. Киреев, д.т.н., профессор, НУГЗУ,
А.А. Ковалёв, к.т.н., НУГЗУ,
К.В. Жерноклев, к.х.н., доцент, НУГЗУ*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА НА ИЗОЛИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ГЕЛЕОБРАЗНОГО СЛОЯ ПО ОТНОШЕНИЮ К ПАРАМ ТОКСИЧНЫХ И ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

(представлено д.т.н. Бодянским Э.В.)

Проведено экспериментальное исследование влияния скорости ветра на испарение токсичных и горючих жидкостей через изолирующий слой геля системы $\text{CaCl}_2(10\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(10\%)$. Показано, что эффективность применения изолирующих гелевых слоёв возрастает с ростом скорости ветра. Дана рекомендация использовать изолирующие средства на основе гелеобразных слоёв для локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с аварийными утечками и разливами жидких горючих и токсичных веществ.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, локализация, гелеобразующие системы, гелеобразные слои, скорость ветра, изолирующие свойства, пары токсичных и горючих жидкостей.

Постановка проблемы. Аварийный разлив опасных жидкостей возможен на предприятиях, вырабатывающих, накапливающих или использующих легкокипящие жидкости. Наибольшее их количество может храниться на складах производственных или транспортных предприятий. Обычно, минимальные запасы химических продуктов на предприятиях должны обеспечить 3 суток бесперебойной работы, а на некоторых производствах химических веществ и минеральных удобрений – 10-15 суток. Из этого следует, что на больших химических предприятиях, складах в цепи транспортирования этих веществ, могут находиться тысячи тонн сильнодействующих отравляющих и пожароопасных веществ. По статистике около 30 % аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте связано именно с разливами химических веществ.

В случае разгерметизации резервуара значительной емкости паровоздушная зона загазованности может распространяться далеко за пределы предприятия и вызывать поражение не только рабочего персонала, но и населения в ближайших населенных пунктах [1]. Масштабы аварии увеличиваются под действием ветра. Это определяется как горизонтальным вытягиванием зоны загазованности,

так и значительным увеличением интенсивности испарения, что может создать условия чрезвычайной ситуации даже при относительно небольших объемах аварийного разлива легкокипящей жидкости. В условиях ветра зону загазованности могут образовать даже жидкости с высокой температурой кипения. Однако в настоящее время не существует эффективных средств по предотвращению испарения опасных жидкостей. Данное состояние вопроса формирует научную проблему, решение которой лежит в области поиска новых путей эффективной изоляции поверхности аварийного разлива опасных жидкостей.

Анализ последних исследований и публикаций. На сегодняшний момент, для этого используются стандартные пены, разработанные для целей пожаротушения. Однако стойкость пен на поверхности многих жидкостей очень низкая, что привело к разработке фторсинтетических пленкообразующих пенообразователей. Так, для ликвидации горения полярных жидкостей применяют стойкие к их воздействию пенообразователи AFFF/AR. Известно, что при толщине пленки «легкой воды», полученной на основе фторсинтетического пенообразователя, 50 мкм, скорость поступления паров в воздушную среду снижается на два порядка [2]. Несмотря на хорошие изолирующие характеристики, в последнее время поднят вопрос об ограничении использования пленкообразующих пенообразователей по экологическим соображениям [3-5].

Поэтому перспективным решением является удержание на поверхности жидкостей гелей – твёрдообразного водосодержащего слоя [6]. Так же, как и пленка «легкой воды» фторсинтетических пен, водонаполненный гель обладает лучшими изолирующими свойствами по сравнению с обычными пенами, но при этом используемая номенклатура гелей экологически безвредна.

В вопросе образования опасных концентраций при испарении жидкостей важным фактором является интенсификация этого процесса при наличии ветра. Закономерности испарения жидкостей со свободной поверхности и образование опасных концентраций (на открытом пространстве [7], в помещении [8], из круглого резервуара [9]) изучены достаточно хорошо. Согласно существующим аналитическим формулам [10], появление ветра 10 м/с увеличивает интенсивность испарения жидкости в 22 раза по сравнению с неподвижной воздушной средой.

В то же время, представляет интерес вопрос о степени изменения изолирующей способности пен или гелей при ветровой нагрузке, но в литературе соответствующие данные отсутствуют.

Постановка задачи и её решение. Изложенное выше позволяет сформулировать задачу данного исследования, как экспериментальное определение влияния скорости ветра на изолирующие свойства гелеобразных слоёв по отношению к парам токсичных и горючих жидкостей, относящихся к разным классам органических веществ. В

качестве исследуемых жидкостей выбраны представители разных гомологических классов: одноатомный спирт – и-пропанол (4 класс опасности); галогенпроизводный углеводород - 1,2-дихлорэтан (2 класс опасности); ароматическое соединение - бензол; (2 класс опасности) и смесь насыщенных, ненасыщенных и ароматических углеводородов – бензин (3 класс опасности). Помимо токсичности все выбранные вещества являются легковоспламеняющимися жидкостями.

Для получения слоя геля была использована ГОС $\text{CaCl}_2(10\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(10\%)$, которая проявила высокие изолирующие свойства при тушении пожаров класса «А» [11].

Разработанная ранее методика [6] была видоизменена в связи с тем, что при ветровом воздействии на свободную поверхность жидкости при малой высоте свободного борта ёмкости наблюдались потери жидкости. Для устранения этого недостатка была увеличена высота свободного борта до 15 мм. В качестве ёмкости для жидкости был использован цилиндрический сосуд из нержавеющей стали с внутренним диаметром 10,6 мм и горизонтальным ободком шириной 7 мм. Таким образом площадь поверхности жидкости составляла $88,2 \text{ см}^2$, а уровень жидкости был ниже верхнего края ёмкости на 1,5 см.

Предварительные результаты опытов показали, что при отсутствии воздушного потока высота борта сильно влияет на скорость испарения жидкости со свободной поверхности. В тоже время установлено, что при наличии изолирующего слоя геля над поверхностью жидкости скорость испарения мало зависит от высоты свободного борта.

Первоначально была изучена скорость испарения жидкостей со свободной поверхности при отсутствии воздушного потока. Для этого в ёмкость наливал жидкость до уровня на 1,5 см ниже её верхнего края. После этого гравиметрическим методом определялась потеря массы ёмкости с жидкостью (Δm) через 30 минут испарения (существующие методы расчета массы зоны загазованности предполагают стационарный режим испарения [11]). Взвешивание осуществлялось с помощью электронных весов ТНВ – 600, обеспечивающих точность $\pm 0,01 \text{ г}$. Измерения проводились при температуре $(19\pm 1)^\circ\text{C}$.

После этого были проведены аналогичные эксперименты при четырёх скоростях воздушного потока. Из полученных данных были рассчитаны скорости испарения жидкостей ($V_{\text{исп}}$) по соотношению

$$V_{\text{исп}} = \frac{\Delta m}{\tau}, \text{ г}\cdot\text{с}^{-1}, \quad (1)$$

где τ – время испарения, (с).

Соответствующие результаты для четырёх исследованных жидкостей приведены на рис. 1.

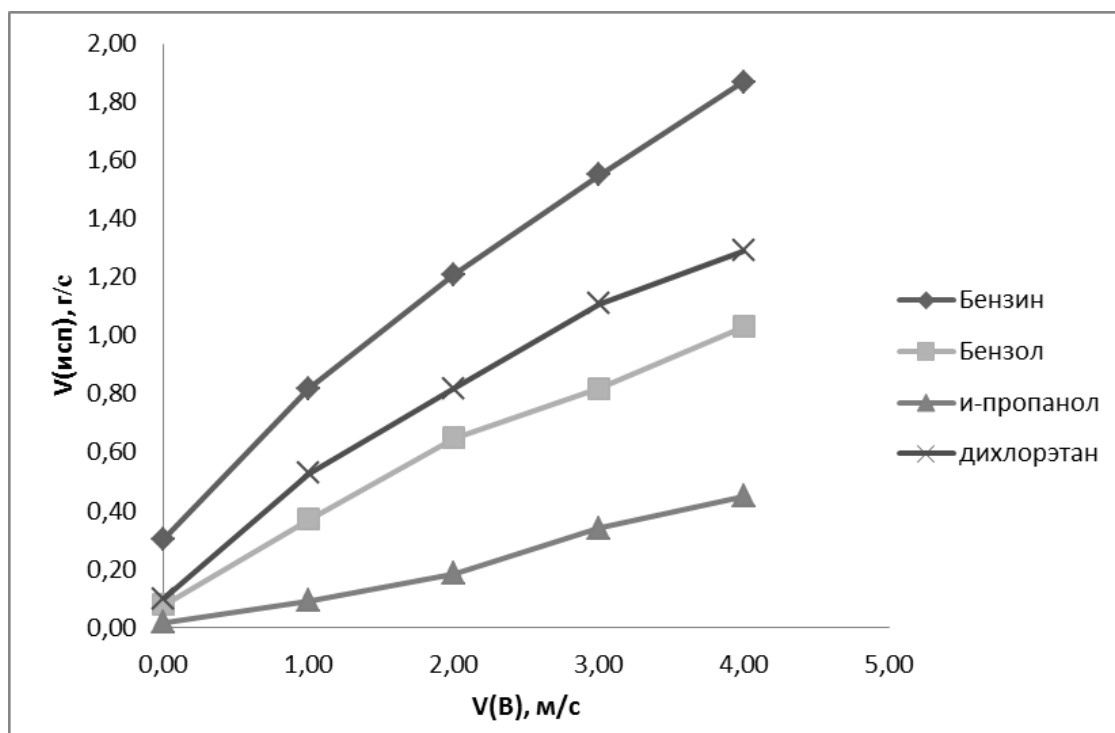


Рис. 1. Залежність швидкості випаровування рідин від інтенсивності вітрової навантаження

Для вивчення випаровування рідин через шар гелю, він наносився на тонку сітку з нержавіючої сталі. Сіткою з нанесеним на неї гелем накривалась циліндрична ємкість з рідиною. Плоский ободок циліндричної ємкості забезпечував достатню високую ступінь герметичності. Контрольний експеримент показав, що за 30 хвилин випаровування легкокиплячого бензину через сітку, повністю ізолювану непроникною металічною фольгою, втрата маси не перевищала 0,02 г.

Ідентичність нанесення шару гелю в різних експериментах контролювалась шляхом вимірювання його маси при рівномірному нанесенні на сітку. На основі цього розраховувалась поверхневий витрат гелю

$$\Phi = \frac{m_{\text{геля}}}{S}, \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}, \quad (2)$$

де S – площа сітки, (см^2); $m_{\text{геля}}$ – маса гелю, нанесеного на сітку, (г).

В серії попередніх вимірювань встановлено, що сплошним шаром гелю утворюється при поверхневому витраті не менше $0,12 \text{ г/см}^2$. Тому в подальшому був вибран поверхневий витрат гелю $0,13 \text{ г/см}^2$.

Для створення повітряного потоку використовувався побутовий вентилятор. Швидкість повітряного потоку вимірювалась з допомогою анемометра чашечного У1.1. Зміна швидкості повітряного потоку

производилось дискретным изменением скорости вращения вентилятора и варьированием расстояния между вентилятором и ёмкостью для жидкости. Измерения проводились при отсутствии воздушного потока и его скоростях 1, 2, 3 и 4 м/с.

Определение массы испарившейся жидкости проводили так же, как и при испарении со свободной поверхности жидкости при отсутствии воздушного потока.

Данные по скорости испарения для четырёх жидкостей через слой геля представлены на рис. 2.

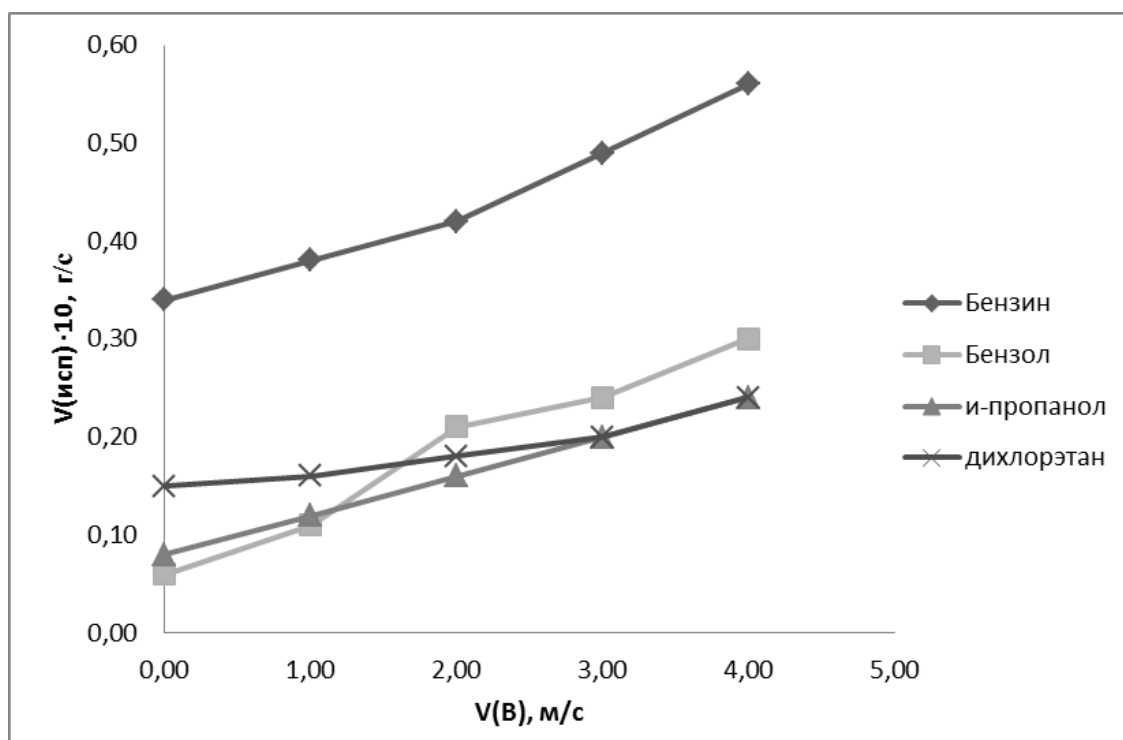


Рис. 2. Зависимость скорости испарения жидкостей через гелеобразный слой от интенсивности ветровой нагрузки

В ходе экспериментов проводились визуальные наблюдения. Они позволили установить, что в течение 3-4 часов ветрового воздействия на слой геля толщиной $\sim 1,2$ мм последний сохраняет свою целостность. Это в свою очередь означает [12], что гель сохраняет свои изолирующие свойства.

Согласно результатам эксперимента, приведенным на рис. 1, скорость испарения всех изученных жидкостей возрастает с увеличением скорости воздушного потока (в среднем – на порядок). Причём характер этой зависимости близок к линейной. Скорость испарения жидкостей через слой геля также увеличивается с ростом скорости воздушного потока (рис. 2), однако, по сравнению с испарением со свободной поверхности, это увеличение значительно меньше (в среднем – в 2 раза). Для установления количественной связи между влиянием слоя геля на

скорость испарения жидкостей при разных скоростях воздушного потока, как и в предыдущей работе, были рассчитаны коэффициенты замедления испарения (К)

$$K = \frac{V_{\text{исп}}}{V_{\text{исп(гель)}}} = \frac{\Delta m}{\Delta m_{\text{гель}}}, \quad (3)$$

где $V_{\text{исп}}$ – скорость испарения со свободной поверхности, ($\text{г}\cdot\text{с}^{-1}$); $V_{\text{исп(гель)}}$ – скорость испарения через слой геля, ($\text{г}\cdot\text{с}^{-1}$); Δm – изменение массы жидкости при испарении со свободной поверхности, (г); $\Delta m_{\text{гель}}$ – изменение массы жидкости при испарении через слой геля, (г).

В табл. 1 представлены соответствующие результаты по коэффициентам замедления испарения для четырех жидкостей для всех изученных скоростей воздушного потока.

Табл. 1. Коэффициенты замедления испарения (К) для четырех жидкостей для разных скоростей воздушного потока

$V_{\text{ветра}}$, м/с	К			
	бензин	бензол	и-пропанол	1,2-дихлорэтан
0	8,9	13,0	2,1	6,3
1	21,6	33,6	7,7	32,7
2	28,8	31,1	11,3	45,3
3	31,6	34,2	17,1	45,7
4	33,4	34,3	18,4	53,1

Анализ данных табл. 1 позволяет сделать вывод, что с ростом скорости воздушного потока коэффициент замедления испарения жидкостей гелевым слоем возрастает. Для нерастворимых и малорастворимых в воде жидкостей (бензин, бензол, 1,2-дихлорэтан) при скорости ветра 4 м/с он достигает значений 33-53. Для жидкостей неограниченно растворимых в воде (и-пропанол) он значительно меньше, особенно при отсутствии ветра.

Выводы. Гелеобразные слои уменьшают скорость испарения токсичных органических жидкостей. Эффективность применения гелевых слоёв возрастает с ростом скорости ветра. Изолирующие свойства гелеобразных слоёв сохраняются при скорости ветра 4 м/с (3-4) часа. Рекомендуется использовать изолирующие средства на основе гелеобразных слоёв для локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с аварийными утечками и разливами жидких горючих и токсичных веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальов О.С. Аналіз стану хімічної безпеки на Україні у світі аварій на підприємствах з обертанням аміаку / Д.Г. Трегубов, О.С. Ковальов // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА. – 2013. – №74. – С. 390-394.
2. Корольченко Д.А. Лабораторная методика определения изолирующих свойств пены на поверхности гептана / Д.А. Корольченко, А.Ф. Шароварников, Е.Н. Дегаев // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т.23. – №4. – С. 72-76.
3. Buck R.C., Franklin J., Berger U., Conder J. M, Cousins I. T, Voogt P., et al. Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins // Integrated Environmental Assessment and Management. – 2012. – No. 4. Vol. 7. P. 513–541.
4. Martin J. W., Smithwick M. M., Braune B. M., Hoekstra P. F., Muir D. C. G., Mabury S. A. Identification of long-chain perfluorinated acids in biota from the Canadian Arctic // Environ Sci. Technol. – 2004. – No. 38. – P. 373–380.
5. Kannan K., Corsolini S., Falandysz J., Fillmann G., Kumar K. S., Loganathan B. G., Mohd M. A., Olivero J., van Wouwe N., Yang J. H., Aldous K. M. Perfluorooctanesulfonate and related fluoro-chemicals in human blood from several countries // Environ Sci. Technol. – 2004. – No. 38. – P. 89–95.
6. Дадашов И.Ф. Экспериментальное исследование изолирующих свойств гелеобразного слоя по отношению к парам органических токсичных жидкостей / И.Ф. Дадашов // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2017. – № 25. – С. 25-27.
7. Puttick Stephen. Modelling the dispersion of spills in buildings / S. Puttick // Symposium series. Hazards XXI. – IChemE. – 2009. – №. 155. – P. 610 – 614.
8. Bubbico R. Predicting Evaporation Rates from Pools / R. Bubbico, V. Mazzarotta // Chemical engineering transactions. – Servizi S.r.l. – 2016. – V. 48. – P. 49 – 54.
9. Saravanan R. A Risk Assessment Methodology for Toxic Chemicals Evaporation from Circular Pools / R. Saravanan, T. Karunanithi, L. Govindarajan // J. Appl. Sci. Environ. Manage. – JASEM. – March, 2007. – Vol. 11 (1). – P. 91 – 100.
10. Тарахно О.В. Теорія розвитку та припинення горіння. Практикум. Ч.2. / О.В. Тарахно, Д.Г. Трегубов, К.В. Жернокльов, А.І. Шепелева, В.В. Коврегін. – Харків: НУЦЗУ. - 2010. – 514 с. Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3231>.
11. 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.

12. Кіреєв О.О. Вогнезахисті властивості силікатних гелеутворюючих систем / О.О. Кіреєв // Науковий вісник будівництва. – 2006. – Вип. 37. – С. 188–192.

Получено редколлегией 14.03.2018

І.Ф. Дадашов, Д.Г. Трегубов, О.О. Кіреєв, А.А. Ковалєв, К.В. Жерноклев

Експериментальне дослідження впливу швидкості вітру на ізолюючі властивості гелеподібного шару по відношенню до парів токсичних і горючих рідин

Проведено експериментальне дослідження впливу швидкості вітру на випаровування токсичних і горючих рідин через ізолюючий шар гелю системи CaCl_2 (10%) + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ (10%). Показано, що ефективність застосування ізолюючих гелевих шарів зростає зі зростанням швидкості вітру. Надана рекомендація використовувати ізолюючі засоби на основі гелеподібних шарів для локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій пов'язаних з аварійними витіканнями і розливами рідких горючих та токсичних речовин.

Ключові слова: надзвичайні ситуації, локалізація, гелеутворюючі системи, гелевидні шари, швидкість вітру, ізолюючі властивості, пари токсичних і горючих рідин.

I.F. Dadashov, D.G. Tregubov, O.O. Kiriev, A.A. Kovalyov, K.V. ZHernoklev

Experimental study of influence of wind speed on insulating properties of gel-like layer in relation to vapors of toxic and combustible liquids

An experimental study was carried out on the influence of wind speed on the evaporation of toxic and combustible liquids through the insulating layer of the gel of system CaCl_2 (10%) + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ (10%). It is shown that the efficiency of using of insulating gel layers increases with increasing wind speed. The recommendation is to use insulating means based on gel-like layers for localization and elimination of emergency situations associated with emergency shutdowns and spillages of liquid fuels and toxic substances.

Keywords: emergency situations, localization, gel forming systems, gel layers, wind speed, isolating properties, pairs of toxic and combustible liquids.