

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА В ПОЖАРОТУШЕНИИ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

**И. Ф. Дадашов**

Академия МЧС Азербайджанской Республики

ул. им. Эльман Гасымова, 8, Сураханский район, п. Говсан, г. Баку, AZ 1089, Азербайджанская Республика.

E-mail: ilgardadashov@mail.ru

**В. М. Лобойченко, А. А. Киреев**

Национальный университет гражданской защиты Украины

ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61023. E-mail: vloboichm@gmail.com, 53kireev@gmail.com

Рассмотрены основные средства, используемые для тушения горючих жидкостей. Проанализированы положительные и отрицательные свойства воздушно-пенных огнетушащих средств. Как один из наибольших недостатков огнетушащих пен отмечено присутствие в их составе экологически опасных поверхностно-активных веществ - пенообразователей. Для устранения этого недостатка пен предложено для тушения горючих жидкостей использовать гелеобразующие огнетушащие средства (ГОС). Они содержат в своём составе неорганические вещества 3 и 4 классов опасности и наносятся на экологически безопасный материал - пеностекло. Проведен сравнительный анализ возможного экологического ущерба от использования 12 систем ГОС согласно действующей национальной нормативной документации. Отмечается необходимость обеспечения стехиометричности протекания реакции образования ГОС для минимизации образования побочных продуктов реакции. Рассчитаны размеры ущерба от попадания растворенных побочных продуктов образования ГОС различного состава в почву и в водные объекты. Получено, что загрязнение земли растворенными побочными продуктами образования ГОС вносит большой вклад в размер суммарного экологического ущерба. Как приносящие наименьший экологический ущерб предложено использовать в тушении горючих жидкостей ГОС на основе  $K_2CO_3$  и  $NaCl$ , а при их отсутствии – ГОС на основе  $CaCl_2$  и  $MgCl_2$ .

**Ключевые слова:** горючие жидкости, пожаротушение, экологический ущерб, гелеобразующие огнетушащие средства, загрязнение

## ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО ЗБИТКУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧИХ СИСТЕМ РІЗНОГО СКЛАДУ В ПОЖЕЖОГАСІННІ ГОРЮЧИХ РІДИН

**І. Ф. Дадашов**

Академія МНС Азербайджанської Республіки

вул. ім. Ельман Гасимова, 8, Сураханський район, с. Говсан, м. Баку, AZ 1089, Азербайджанська Республіка.

E-mail: ilgardadashov@mail.ru

**В. М. Лобойченко, О. О. Кіреєв**

Національний університет цивільного захисту України

вул. Чернишевська, 94, м Харків, 61023, Україна. E-mail vloboichm@gmail.com, 53kireev@gmail.com

Розглянуто основні компоненти, що використовуються для гасіння горючих рідин. Проаналізовано позитивні та негативні властивості найбільш використовуваних речовин для гасіння пожеж класів «А» та «В» - повітряно-пінних вогнегасних засобів. Як один з найбільших недоліків вогнегасних пін відзначено присутність в їх складі екологічно небезпечних піноутворювачів - поверхнево-активних речовин. Для усунення цього недоліку запропоновано для гасіння горючих рідин використовувати гелеутворюючі вогнегасні засоби (ГВЗ). Вони містять у своєму складі неорганічні речовини 3 та 4 класів небезпеки і при пожежогасінні горючих рідин наносяться на піноскло - екологічно безпечний легкий матеріал. Проведено порівняльний аналіз можливого екологічного збитку від використання 12 систем ГВЗ відповідно до чинної національної нормативної документації. Наголошується на необхідності забезпечення стехіометричності протікання реакції утворення ГВЗ для мінімізації утворення побічних продуктів реакції та зменшення їх негативного впливу на довкілля. Розраховані розміри збитків від потрапляння розчинених побічних продуктів утворення ГВЗ різного складу в ґрунт й у водні об'єкти. Отримано, що забруднення землі розчинними побічними продуктами утворення ГВЗ вносить найбільший вклад в розмір сумарного екологічного збитку. Визначальними для розрахунку розмірів екологічного збитку від забруднення складових довкілля внаслідок використання ГВЗ є маса, коефіцієнт небезпеки і ГДК забруднюючої речовини. Сума збитків може коливатись в широкому діапазоні - від декількох десятків до сотень тисяч гривень. Як ті, що завдають найменшої екологічної шкоди, запропоновано використовувати в гасінні горючих продуктів ГВЗ на основі  $K_2CO_3$  і  $NaCl$ , а при їх відсутності - ГВЗ на основі  $CaCl_2$  і  $MgCl_2$ .

**Ключові слова:** горючі рідини, пожежогасіння, екологічний збиток, гелеутворюючі вогнегасні засоби, забруднення.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Одной из сложнейших проблем пожаротушения является борьба с пожарами, в которых основным горючим веществом являются жидкости (пожары класса «В»). Такие пожары часто характеризуются большой длительно-

стью, необходимостью привлечения большого количества сил и средств пожаротушения, большим материальным ущербом и нередко человеческими жертвами [1-3].

Для тушения горючих жидкостей используют различные виды огнетушащих веществ (ОВ): распыленную и тонкораспыленную воду и водные растворы, хладоны, порошковые и аэрозольные средства, газообразную, жидкую и твердую углекислоту [1]. В случае воды основным механизмом прекращения горения является охлаждение. Водные растворы одновременно с высоким охлаждающим эффектом проявляют и высокие ингибирующие характеристики. Для порошковых средств и хладонов основной вклад в тушение жидкостей вносит эффект ингибирования, а охлаждающий эффект имеет второстепенное значение. Углекислота в основном реализует охлаждающе-разбавляющий механизмы прекращения горения. Рассмотренные выше огнетушащие средства обеспечивают положительный результат в случае небольших площадей горения горючих жидкостей. В таком случае возможно создать огнетушащую концентрацию ОВ над всей поверхностью горящей жидкости. Если над частью поверхности горючей жидкости не создаётся огнетушащая концентрация аэрозолей или огнетушащего газа, то над этим участком горение продолжается. Для того чтобы одновременно достигнуть огнетушащей концентрации над всей поверхностью горящей жидкости требуется обеспечить высокую интенсивность подачи ОВ. Причём такая концентрация должна поддерживаться в течение времени, за которое произойдет охлаждение жидкости ниже температуры вспышки и ограждающие конструкции остынут ниже температуры самовоспламенения. Это условие практически трудно реализовать особенно для легколетучих жидкостей.

Перечисленные типы ОВ могут обеспечить положительный результат при тушении высококипящих жидкостей на начальных этапах развития пожара. Большую универсальность для тушения пожаров класса «В» обеспечивают воздушно-механические пены [4]. Они позволяют обеспечить изоляцию поверхности горючей жидкости от газовой фазы, в которой происходит процесс горения. Пены используются для тушения горючих жидкостей более столетия. Для получения огнетушащих пен используются водные растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ), получивших название пенообразователей (ПО). Первоначально использовались ПО на основе ПАВ растительного происхождения, постепенно в обращение были введены ПАВ на основе веществ животного происхождения (белковые ПАВ). Впоследствии широкое распространение получили ПО на основе синтетических ПАВ [1, 2, 4]. Однако все ранее разработанные пенообразователи часто не обеспечивали положительного результата тушения даже при полном выполнении нормативных требований [3-4].

Дальнейшее совершенствование огнетушащих пенообразователей привело к созданию плёнообразующих систем. Последний тип ПО содержит перфторированные соединения. Такие ПО в подавляющем большинстве случаев позволяют обеспечить положительный результат тушения пожаров с участием горючих жидкостей при выполнении нормативных требований [2]. Общим недостатком синте-

тических пенообразователей является их токсичность и экологическая опасность. В качестве экологических требований к ОВ, в том числе к ПО, относятся требования к их классу опасности [5] и биоразлагаемости под действием природных микроорганизмов. В качестве ПО можно использовать биологически «мягкие» вещества 3-4 класса опасности. Для большинства ПАВ, используемых в качестве компонентов пенообразователей, декларируется соответствие этим требованиям.

Исследованию токсичности и экологических свойств ПАВ, входящих в состав ПО посвящено большое количество исследований [6-11]. В этих исследованиях был установлен ряд общих токсикогигиенических свойств синтетических ПАВ.

Так как в последнее время в основном осуществлён переход к плёнообразующим ПО, основной интерес представляют экологические параметры именно этих веществ. Последние исследования в этой области позволили усомниться в соответствии экологическим требованиям плёнообразующих ПО [12-13]. Так в работе [12] было экспериментально установлено, что перфторированные ПО в 150 раз токсичнее ранее широко распространённого «биологически жесткого» пенообразователя ПО-6К. Также показано, что такие ПО в 2500 раз стабильнее к биодеградации в окружающей среде. Подтверждением экологической опасности таких ПО стало решение агентства по охране окружающей среды США объявить программу добровольного прекращения использования таких веществ.

Экспериментальные исследования традиционных ПО показали, что ранее задекларированные характеристики их токсичности сильно занижены. В работе [13] утверждается, что они обладают большей токсичностью по сравнению с фторсодержащими ПО. С учётом факта низкой эффективности традиционных ПО [1-4] можно заключить, что используемые в настоящее время ПО не удовлетворяют предъявляемым к ним комплексу требований по огнетушащей эффективности и экологическим показателям. Разработка новых ПО с высокими экологическими характеристиками на основе экстракта хмеля [14] не решает в целом проблему. Они по своим огнетушащим и экономическим характеристикам уступают применяемым в настоящее время синтетическим ПО.

Отсюда можно сделать вывод, что в настоящее время для воздушно-пенных средств пожаротушения возникло противоречие между экологическими и огнетушащими характеристиками.

Целью работы является разработка высокоэффективных экологически безопасных средств тушения горючих жидкостей и сравнительная оценка возможного экологического ущерба для окружающей среды при их использовании.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** При тушении горючих жидкостей необходимо добиться прекращения горения и создать условия длительного недопущения повторного воспламенения. Наиболее рациональным способом создать такие условия является создание изолирующей прослойки между поверхностью горючей жидкости и

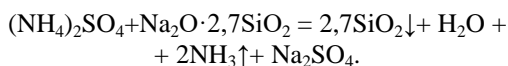
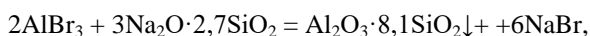
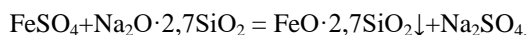
газової фазой. Недостатки огнетушачих пен, як ізолюючої прослойки були розглянуті вище.

Другий спосіб створити ізолюючу прослойку представляє використання гелеобразуючих огнетушачих систем (ГОС). Ці огнетушачі системи були раніше запропоновані для тушення твердих горючих матеріалів (ТГМ), в тому числі і удаленно [15, 16]. ГОС представляють собою подвійну систему, яка складається з двох окремих зберіганих і окремо - одночасно подаваних розчинів. Складові подобрані так, щоб при їх змішуванні на межі фаз між компонентами відбувалася реакція, що призводить до утворення нетекучого шару. ГОС добре себе зарекомендували при тушенні ТГМ. Всього було досліджено 35 систем [17].

Непосередньо використовувати ГОС для тушення горючих рідин неможливо, так як гель тонить в більшості горючих рідин. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано використовувати легкий носій для шару гелю, на якому він формуватиметься. На основі проведених експериментальних досліджень, як носій було обрано гранульоване пеностекло [18]. Пеностекло це негорючий, нелетучий, екологічно безпечний матеріал, який дозволений до використання в житловому будівництві. Проведені експерименти також підтвердили можливість утворення на поверхні вуглеводородної рідини бінарного шару пеностекло – гель з високими ізолюючими властивостями. Важливим фактором є те, що всі компоненти запропонованої огнетушачої системи є речовинами, нерозчинними в вуглеводородних рідинках. Цей факт важливий для переробки нафти і споживачів нафтопродуктів, так як всі компоненти огнетушачої системи не забруднюють відповідні рідини, що спрощує їх подальшу переробку і використання.

Для забезпечення високої ефективності процесу пожегостушення горючих рідин необхідно забезпечити огнетушачій системі високі ізолюючі властивості. Найкращі ізолюючі характеристики показали ГОС з гелеобразувачем - рідинним стеклом ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ). Як каталізатори гелеобразування в таких системах було запропоновано ряд солей. На основі досліджень ізолюючих властивостей ГОС, отриманих при використанні різних каталізаторів гелеобразування [19] було показано, що всі гелеобразні шари проявляють достатні для процесу тушення ізолюючі властивості.

Типичні реакції гелеобразування представлені нижче [17]:



Так як після процесу тушення необхідно використовувати використовувані огнетушачі речовини, виникає питання про їх вплив на навколишнє середовище. Для забезпечення мінімізації впливу компонентів ГОС на навколишнє середовище цільовим є використовувати їх в еквівалентних кількостях. При цьому утворюється максимальна кількість нерозчинних в воді силікатів металів або гелю кремнієвої кислоти, які потім зручно збирати і утилізувати. В табл. 1 наведені продукти взаємодії між гелеобразувачем і каталізатором гелеобразування для досліджених систем, значення мінімальних і стехіометричних концентрацій компонентів ГОС, а також компоненти ГОС і їх маси, відповідні стехіометрії реакції [17]. Маси відповідних розчинних речовин були розраховані на основі стехіометрії реакції і використовувалися в подальшому для розрахунку екологічного ушкодження.

Як видно з наведених даних, в разі використання стехіометричних концентрацій компонентів ГОС крім нерозчинних речовин утворюються хлорид натрію, сульфат натрію, гідроксид натрію і аміак (в разі використання солей амонію). В разі ж використання мінімальних концентрацій компонентів в надлишку знаходяться каталізатори гелеобразування і утворюється відповідна сіль.

Сравним розмір можливого екологічного ушкодження від потрапляння розчинних продуктів реакції різних ГОС в землю і в поверхнісні води при умові забезпечення стехіометричності реакції утворення ГОС.

Розмір ушкодження за забруднення земель визначається «Методикою визначення розмірів ушкодження, спричиненого забрудненням і засоренням земельних ресурсів внаслідок порушення природоохоронного законодавства» (далі - «Методика 1»), згідно якої кінцева формула для розрахунку екологічного ушкодження одним компонентом має вигляд:

$$P_3 = A \times \Gamma_{oz} \times K_o \times K_{zx} \times \frac{M_i}{T_{zc} \times P_i \times I_n}, \quad (1)$$

де  $P_3$  - розмір ушкодження за забруднення земель, грн;

$A$  - удільні витрати на ліквідацію наслідків забруднення земельної ділянки, значення якого дорівнює 0,5;

$\Gamma_{oz}$  - нормативна грошова оцінка земельної ділянки, підверженої забрудненню, грн/м<sup>2</sup>;

$K_o$  - коефіцієнт небезпечності забруднюючої речовини, значення якого визначається за додатком 1 «Методики 1»;

$K_{zx}$  - коефіцієнт еколого-господарського значення земель, визначається за додатком 2 «Методики 1»;

Таблица 1 - Значения минимальных концентраций компонентов гелеобразующей системы - полисиликата натрия ( $\omega_1$ ) и катализаторов гелеобразования ( $\omega_2$ ), минимальных стехиометрических концентрации полисиликата натрия (стех  $\omega_1$ ) и катализаторов гелеобразования (стех  $\omega_2$ ), состав основного продукта их взаимодействия и значения масс растворимых веществ, образующихся при взаимодействии компонентов ГОС в расчёте на 1 т системы для стехиометрических концентраций компонентов

№ сис-те-мы	Катализатор гелеобразования	Основные продукты реакции	Минимальное содержание компонентов ГОС		Стехиометрическое содержание компонентов ГОС			
			$\omega_1$ , %	$\omega_2$ , %	стех $\omega_1$ , %	стех $\omega_2$ , %	Растворимое вещество	масса, т
1	CaCl <sub>2</sub>	CaO·2,7SiO <sub>2</sub> + NaCl	3	3	6	3	NaCl	0,016
2	MgCl <sub>2</sub>	MgO·2,7SiO <sub>2</sub> + NaCl	5	4	9,5	4	NaCl	0,024
3	MgSO <sub>4</sub>	MgO·2,7SiO <sub>2</sub> + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5	4	7,5	4	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,02
4	FeSO <sub>4</sub>	FeO·2,7SiO <sub>2</sub> + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4	4	6	4	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,018
5	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O·2,7SiO <sub>2</sub>	25	40	-	-	-	-
6	AlCl <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·8,1SiO <sub>2</sub> + NaCl	3,5	3	7,5	3	NaCl	0,02
7	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2,7SiO <sub>2</sub> + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4	3	6	3	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,019
8	NH <sub>4</sub> Cl	H <sub>2</sub> O·2,7SiO <sub>2</sub> + NaCl + NH <sub>3</sub>	8	8	17	8	NaCl	0,044
9	NH <sub>4</sub> Br	H <sub>2</sub> O·2,7SiO <sub>2</sub> + NaBr + NH <sub>3</sub>	8	10	11,5	10	NaBr	0,053
10	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O·2,7SiO <sub>2</sub> + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + NH <sub>3</sub>	8	12	20	12	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,065
11	AlBr <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2,7SiO <sub>2</sub> + NaBr	3	4	5	4	NaBr	0,024
12	NaCl	H <sub>2</sub> O·2,7SiO <sub>2</sub> + NaCl + NaOH	20	20			-	-

$T_{зс}$  - толщина земельного слоя, является размерной единицей для расчета затрат на ликвидацию загрязнения в зависимости от глубины пропитки и равна 0,2 м;

$I_{п}$  - индекс поправки к расходам на ликвидацию загрязнения в зависимости от глубины пропитки загрязняющего вещества, определяется по приложению 3 «Методики 1»;

$M_i$  - масса i-го загрязняющего вещества, т;

$\Pi_i$  - относительная плотность загрязняющего вещества, т/м<sup>3</sup>, значение которой определяется по приложению 4 «Методики 1».

Использование однотипных ГОС позволяет сделать допущение, что площадь загрязненного участка для всех исследуемых вариантов будет одинакова и значения  $K_{зг}$ ,  $I_{п}$ ,  $\Gamma_{оз}$  также будут одинаковы для всех систем. В общем случае размер ущерба от загрязнения земель будет определяться значениями  $K_0$ ,  $M_i$ ,  $\Pi_i$ .

Предположим, произошло загрязнение промышленных земель ( $K_{зг} = 1$ ), загрязняющее вещество проникло на глубину до 0,2 м ( $I_{п} = 0,100$ ), а нормативная денежная оценка загрязненных земель составляет 50 грн/м<sup>2</sup>. Тогда, согласно данных «Методики 1» и справочных данных об относительной плотности загрязняющих веществ, получаем значения, представленные в табл. 2.

Далее для исследуемых систем при условии стехиометричности формирования ГОС провели расчет размеров возмещения убытков, причиненных водным объектам в результате загрязнения веществом в чистом виде в составе продукции или сырья. Он осуществляется согласно «Методике расчета размеров возмещения убытков, причиненных государству вследствие нарушения законодательства об охране и

рациональном использовании водных ресурсов» (далее – «Методика 2») по формуле:

$$P_e = K_c \times K_{кат} \times K_p \times \kappa_3 \times M_i \times y \times \frac{1}{ПДК_i} \quad (2)$$

где  $P_v$  - размер ущерба за загрязнение водных объектов, грн;

$K_c = 1,5$ , коэффициент, учитывающий увеличение вреда водной экосистеме при самовольном или аварийном сбросе;

$K_{кат}$  - коэффициент, учитывающий категорию водного объекта, определяется согласно приложению 2 «Методики 2»;

$K_p$  - региональный коэффициент дефицитности водных ресурсов поверхностных вод, который определяется согласно приложению 3 «Методики 2»;

$\kappa_3 = 1,5$ , коэффициент пораженности водной экосистемы;

$M_i$  - масса сброшенного i-го загрязняющего вещества в водный объект в составе продукции или сырья, т;

$y$  - проиндексированный удельный экономический ущерб от загрязнения водных ресурсов в текущем году, грн /т.  $y(2018 \text{ г.}) = 1618,74$  грн/т.

$ПДК_i$  - безразмерная величина, численно равная  $ПДК_i$  i-го загрязняющего вещества в воде водного объекта соответствующей категории.

В данном случае также очевидно, что размер ущерба в конкретной ситуации при сравнении однотипных ГОС будет определяться  $M_i$  и  $ПДК_i$ . Значения  $K_c$ ,  $K_{кат}$ ,  $K_p$ ,  $\kappa_3$  и  $y$  будут одинаковы при расчете ущерба от разных ГОС в рамках одного водного объекта.

Предположим, произошло загрязнение поверхностного водного объекта хозяйственно-бытового использования ( $K_{кат} = 1$ ), расположенного в Харьковской области ( $K_p = 1,19$ ). Тогда, с учетом данных «Методики 2» и значений ПДК загрязняющих веществ согласно «СанПиН 4630-88. Санитарные пра-

вила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения», получаем значения ущерба, представленные в табл. 2.

Как видно из полученных данных, основной вклад в сумму ущерба вносит загрязнение земель.

Таблица 2 - Результаты расчета размера экологического ущерба за загрязнения земель ( $P_z$ ), поверхностных вод ( $P_v$ ) и суммарного размера ущерба ( $P_{общ.}$ ) при использовании ГОС со стехиометрическим содержанием компонентов в пожаротушении горючих жидкостей

№ системы	Растворимое вещество	$P_z$ , грн.	$P_v$ , грн.	$P_{общ.}$ грн.
1	NaCl	13,64	0,20	13,84
2	NaCl	20,45	0,30	20,75
3	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	23,15	0,17	23,32
4	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20,83	0,16	20,99
5	-	-	-	0
6	NaCl	17,05	0,25	17,3
7	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	21,99	0,16	22,15
8	NaCl	37,50	0,54	38,04
9	NaBr	45,17	114855,67	114900,90
10	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	75,23	0,56	75,79
11	NaBr	20,45	52010,12	52030,57
12	-	-	-	-

Вклад от загрязнения водных объектов растворимыми загрязняющими веществами проявляется лишь в случае очень низких значений ПДК этих веществ или если для них отсутствует значение ПДК. Согласно «Методике 2» в такой ситуации принимаем  $A = 500$ . В частности, для бромида натрия  $P_v$  рассчитано при  $A = 500$ .

Из рассмотренных систем наименьший экологический ущерб при условии обеспечения стехиометричности образования ГОС наносят окружающей среде системы на основе карбоната калия и хлорида натрия, затем следуют системы на основе хлоридов кальция и магния.

Размер ущерба во многом определяется массой загрязняющих веществ, попавших в окружающую среду, и значениями их ПДК. Вследствие этого можно отметить, что системы с образованием хлоридов и сульфатов несут меньший экологический ущерб по сравнению с системами на основе бромидов.

**ВЫВОДЫ.** Проведенный анализ ГОС на основе гелеобразователя и солей металлов (или аммония) позволил выявить условия образования ГОС, используемых в пожаротушении, и сами системы, причиняющие наименьший экологический ущерб. Так, при образовании ГОС следует обеспечить стехиометричность протекания реакции для нивелирования воздействия на окружающую среду исходных компонентов смеси.

Из исследованных систем предлагается тушение пожаров горючих жидкостей проводить с использованием ГОС на основе карбоната калия и хлорида натрия, а при их отсутствии - на основе хлоридов кальция и магния.

Расчет экологического ущерба показал больший негативный экономический эффект от загрязнения почв, и, в меньшей степени, - от загрязнения поверхностных вод при использовании ГОС в пожаро-

тушении. Сумма экологического ущерба может сильно колебаться, от 14 до 115 тыс. грн. при попадании в окружающую среду предполагаемых расчетных количеств компонентов ГОС, и определяется, главным образом, массой, коэффициентом опасности и ПДК загрязняющего вещества. Расчетный предполагаемый размер экологического ущерба от попадания растворимых загрязняющих веществ в почву и поверхностные водные объекты при использовании ГОС на основе хлоридов и сульфатов незначителен.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баланюк В.М., Михалічко Б.М., Моргун Ю.О. Гасіння аерозолем пожеж горючих рідин в резервуарах підшаровим методом. *Пожежна безпека*. 2012. № 21. С. 19 - 22.
2. Шараварников А.Ф., Молчанов В.П., Воевода С.С., Шараварников С.А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. М.: Калан, 2002. 448 с.
3. Боровиков В. Гасіння пожеж у резервуарах для зберігання нафти та нафтопродуктів. *Пожежна та техногенна безпека*. 2015. №11(26). С. 28 - 29.
4. Ковалишин В.В., Васильева О.Е., Козьяр Н.М. Пінне гасіння. Львів: Сполом, 2007. 168 с.
5. Беспалов А.В., Мошковський М.С. Екологічні проблеми забезпечення пожежної безпеки у Збройних Силах України. *Системи обробки інформації*. 2005. № 7(47). С. 28 - 33.
6. T. Ivanković, J. Hrenović. Surfactants in the environment. *Arh. Hig. Rad. Toksikol.* 2010. Vol. 6, № 1. P. 95 - 110.
7. E. Olkowska, Ż. Polkowska, J. Namieśnik. Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges. *Chem. Rev.* 2011. Vol. 111, № 9. P. 5667 - 5700.

8. M. J. Scott, M. N. Jones. The biodegradation of surfactants in the environment. *Biochim. Biophys. Acta*. 2000. Vol. 1508, № 1 - 2. P. 235 - 251.
9. Ying G. G. Fate, behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment. *Environ. Int.* 2006. Vol. 32, № 3. P. 417 - 431.
10. Щербань Н.Г. Биохимические механизмы нарушений в организме теплокровных под воздействием химических соединений. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. № 5/6 (59). С. 29 - 33.
11. Щербань Н.Г., Жуков В.И., Мясоедов В.В.; под общ. ред. Н.Г. Щербаня. Биохимические аспекты экологической патологии, связанной с химическим загрязнением поверхностных источников водоснабжения: Харьков: «Раритеты Украины», 2011. 175 с.
12. Бочаров В.В., Раевская М.В. Использование перфторированных ПАВ в пенообразователях – «второе пришествие». Галогенорганика с наихудшим сценарием развития для обитателей земли. *Пожаровзрывобезопасность*. 2013. Т.22, № 10. С. 75 - 82.
13. Безродный И.Ф. Экология пожаротушения – пока это только слова. *Пожаровзрывобезопасность*. 2013. Т.22, № 6. С. 85 - 90.
14. Тайсумов Х.А. Пенообразующий состав термостойкой пены на основе хмеля. *Пожаровзрывобезопасность*. 2012. Т.21, №12. С. 69 - 70.
15. Киреев А.А., Савельев Д.И., Жерноклёв К.В. Выбор эффективных огнетушащих средств для тушения лесных пожаров. *Проблемы пожарной безопасности*. 2015. Вып. 38. С. 77 – 82.
16. Планирование эксперимента и конструирование насадок пожарных стволов для дистанционного тушения пожаров гелеобразующими составами/ С. В. Росоха та ін. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2016. Вып. 4(99). С. 94 – 99.
17. Абрамов Ю.А., Киреев А.А. Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные средства повышенной эффективности применительно к пожарам класса А. Харьков.: НУГЗУ, 2015. 254 с.
18. Дадашов И.Ф., Михеенко Л.А., Киреев А.А. Выбор лёгкого силикатного носителя для гелевого огнетушащего слоя при пожаротушении. *Керамика: наука и жизнь*. 2016. № 2 (31). С. 44 - 51.
19. Дадашов И.Ф. Экспериментальное исследование изолирующих свойств гелеобразного слоя по отношению к парам органических токсичных жидкостей. *Проблемы надзвичайних ситуацій*. 2017. Вип. 25. С. 22 - 27.

**COMPARATIVE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL DAMAGE  
WHEN USING GEL FORMING SYSTEMS OF DIFFERENT COMPOSITION  
IN COMBUSTIBLE LIQUIDS EXTINGUISHING**

**I. Dadashov**

Academy of Ministry of Emergency Situations of the Azerbaijan Republic.  
vul. Elman Gasimov 8, Surakhani district, Hovsan settlement, Baku city, AZ1089, Azerbaijan Republic.  
E-mail: ilgardadashov@mail.ru.

**V. Loboichenko, A. Kireev**

National University of Civil Defense of Ukraine.  
vul. Chernyshevskaya, 94, Kharkov, Ukraine, 61023. E-mail: vloboichm@gmail.com, 53kireev@gmail.com.

**Purpose.** To develop highly effective environmentally friendly agents of combustible liquids extinguishing and to perform a comparative assessment of the possible environmental damage to the environment when using them. **Methodology.** Initially, gelling fire extinguishing systems (GFS) based on liquid glass and inorganic soluble metal salts and ammonium ion were obtained (12 systems). They contain in their composition inorganic substances of 3 and 4 hazard classes and are applied to environmentally friendly material foam glass. Then, the minimum and stoichiometric concentrations of the components of gel-forming systems, which are necessary for the gelling process, are calculated. Further, the amount of possible environmental damage from pollution of surface water and soil by soluble products of the gelation reaction of different gel-forming systems was calculated. **Results.** The analysis of GFS on the basis of gellants and metal salts (or ammonium) made it possible to identify the conditions of the formation of GFS used in firefighting and the systems that cause the minimal environmental damage. Thus, the stoichiometry of the reaction should be ensured to neutralize the environmental impact of the original components of the mixture. It is proposed to extinguish fires of combustible liquids using GFS based on potassium carbonate and sodium chloride, and in their absence based on calcium and magnesium chlorides. Calculation of environmental damage showed more negative economic effect from the soil pollution, and to a lesser extent from the surface waters pollution by using GFS in firefighting. The amount of environmental damage can vary greatly, when the supposed estimated amounts of the components of the GFS are released into the environment. It is determined mainly by the mass, hazard ratio and MPC of the pollutant. The estimated amount of the environmental damage from the infiltration of dissolved pollutants into the soil and surface water bodies when using GFS based on chlorides and sulphates is negligible. **Originality.** The estimated environmental damage from the pollution of surface waters and soils for 12 considered GOS is determined as a parameter of the environmental characteristics of a fire extinguishing agent. The need to ensure the stoichiometry of the formation of GFS in order to minimize environmental damage was noted. **Practical value.** The estimated amount of environmental damage from the water pollution and the soil pollution is calculated for a number of GOS using in extinguishing flammable liquids. It is 13 - 114000 UAH. It is recommended to use GFS on the basis of potassium carbonate and sodium chloride, and in their absence - on the basis of calcium and magnesium chlorides.

**Key words:** combustible liquids, fire extinguishing, environmental damage, gelling fire extinguishing systems, pollution.

REFERENCES

1. Balaniuk, V.M., Mykhalitchko, B.M., Morgun, Yu.O. (2012), "Aerosol fire extinguishing of combustible liquids in petrol tanks by subsurface method", *Fire Safety*, № 21, pp. 19 - 22
2. Sharavarnikov, A.F., Molchanov, V.P., Voyevoda, S.S., Sharavarnikov, S.A., (2002), *Tusheniye pozharov nefii i nefteproduktov* [Extinguishing fires of oil and oil products], Moscow, Kalan. [in Russian].
3. Borovikov, V. (2015), "Extinguishing fires in storage tanks for oil and petroleum products", *Pozhezhna ta tekhnohenna bezpeka*, №11 (26), pp. 28 - 29.
4. Kovalishin, V.V., Vasiliev, O.E., Kozyar, N.M. (2007), *Foam extinguishing* [Pinne hasinnya], Lviv, Spolom.
5. Bepalov, A.V., Moshkovsky, M.S. (2005), "Environmental problems of providing fire safety in the Armed Forces of Ukraine", *Information Processing Systems*, № 7 (47), pp. 28 - 33.
6. Ivankovizh, T., Hrenovizh, J. (2010), "Surfactants in the environment", *Arh. Hig. Rad. Toksikol*, vol. 61, № 1, pp. 95 - 110.
7. Olkowska, E., Polkowska, Yi., Namiennik, J. (2011), "Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges", *Chem. Rev.*, vol. 111, № 9, pp. 5667 - 5700.
8. Scott, M.J., Jones, M.N. (2000), "The biodegradation of surfactants in the environment", *Biochim. Biophys. Acta*, vol. 1508, № 1 - 2, pp. 235 - 251.
9. Ying, G.G. (2006), "Fate, behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment", *Environ. Int.*, vol. 32, № 3, pp. 417 - 431.
10. Shcherban, N.G. (2012), "Biochemical mechanisms of disorders in the body of warm-blooded under the influence of chemical compounds", *Eastern-European Journal of Advanced Technologies*, Vol 5, № 6(59), pp. 29 - 33.
11. Shcherban, N.G., Zhukov, V.I., Myasodov, V.V.; under the general edit. of Scherban, N. G. (2011), *Biokhimicheskiye aspekty ekologicheskoy patologii, svyazannoy s khimicheskim zagryazneniyem poverkhnostnykh istochnikov vodosnabzheniya* [Biochemical aspects of environmental pathology associated with chemical contamination of surface water sources], Kharkov, «Rarity Ukrainy».
12. Bocharov, V.V., Raevskaya, M.V. (2013), "The increased use of perfluorinated surfactants – "second coming" of organohalogen compounds with the worst scenario of development for inhabitants of Earth", *Pozharovzryvobezopasnost*, vol. 22, №10, pp. 75 - 82.
13. Bezrodnyy, I.F. (2013), "Fire ecology - these are just words...", *Pozharovzryvobezopasnost*, vol. 22, № 6., pp. 85 - 89.
14. Taisumov, Kh.A. (2012), Foam composition of heat-resistant foam on the basis of hop, *Pozharovzryvobezopasnost*, vol. 21, № 12, pp. 69 - 70.
15. Kireiev, O.O., Saveliev, D.I., Zhernokliov, K.V. (2005), "How to choose effective forest fire extinguishing agents", *Problems Of Fire Safety*, Iss. 38, pp. 77 - 82.
16. Rosocha, S., Senchihin, Yu., Ostapov, K., Dendarenko, Yu. (2016), "Planning the experiment and engineering the nozzle of fire barrels for remote fire fighting", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, Iss. 4(99), pp. 94 - 99.
17. Abramov, Ju.A., Kireev, A.A. (2015), *Geleobrazuyushchiye oagnetushashchiye i ognezashchitnyye sredstva povyshennoy effektivnosti primenitel'no k pozharam klassa A* [Gel-forming fireextinguishing and fire-retardant remedies of increased efficiency for fire of Class A], Kharkov, NUGZU
18. Dadashov, Y.F., Mykheenko, L.A., Kyrev, A.A. (2016), "Selection of an easy silicate carrier for gel extinguishing layer in fire-fighting", *Ceramics: Science and Life*, № 2(31), pp.44 - 51.
19. Dadashov, I.F. (2017), "Experimental investigation of the insulating properties of the gel layer on the relation to the steam of organic toxic liquids", *Problems Of Emergencies*, Iss. 25, pp. 22 - 27.

Стаття надійшла 15.02.2018.