

УДК 614.8.084

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2019-21-05>

Е. Д. СЛЕПУЖНИКОВ<sup>1</sup>, канд. тех. наук, Р. А. ПЕТУХОВ<sup>1</sup>,  
Р. В. ПОНОМАРЕНКО<sup>1</sup>, канд. тех. наук, с.н.с., Ю. В. БУЦ<sup>2</sup>, канд. геогр. наук, доц.

<sup>1</sup>Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, Украина  
ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, 61023, Украина,

<sup>2</sup>Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, Харьков, Украина  
площадь Свободы 4, г. Харьков, 61022, Украина,

e-mail: [slepuzhnikov@nuczu.edu.ua](mailto:slepuzhnikov@nuczu.edu.ua)  
[ruslan.petuxov@gmail.com](mailto:ruslan.petuxov@gmail.com)  
[prv@nuczu.edu.ua](mailto:prv@nuczu.edu.ua)  
[butsyura@ukr.net](mailto:butsyura@ukr.net)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5449-3512>  
<https://orcid.org/0000-0002-0414-2546>  
<https://orcid.org/0000-0002-6300-3108>  
<https://orcid.org/0000-0003-0450-2617>

## ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ МЕТОД ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

**Цель.** Разработка метода локализации чрезвычайных ситуаций, связанных с утечкой летучих токсичных жидкостей в почву, путем использования пен с регулируемым временем твердения.

**Методы.** Метод изоляции поверхности пролитой токсичной жидкости воздушно-механической пеной.

**Результаты.** Представлены результаты разработки метода локализации чрезвычайных ситуаций, связанных с утечкой летучих токсичных жидкостей в почву, путем использования пен с регулируемым временем твердения. Новый научный результат заключается в использовании процессов гелеобразования, для получения изолирующего средства с заданным временем твердения. Установлено, что наиболее эффективными средствами, которые уменьшают скорость перехода токсичных жидкостей в газовую фазу, являются такие, которые обеспечивают изоляцию поверхности жидкости. Предложено использовать пены с регулируемым временем твердения. Экспериментально определены времена гелеобразования для двух гелеобразующих систем ( $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ ). На основе полученных данных выбраны концентрации гелеобразователя и катализатора гелеобразования с временем гелеобразования в интервале времени 30-60 с.

**Выводы.** Разработанные системы позволяют достичь длительного процесса изоляции при меньшем удельном расходе компонентов. Использование предложенных компонентов в почвах является экологически безопасным процессом.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** почва, пена быстрого твердения, токсичная жидкость, гелеобразования, абсорбирующее вещество, катализатор, пенообразователь

<sup>1</sup>Slepuzhnikov E. D., <sup>1</sup>Pietukhov R. A., <sup>1</sup>Ponomarenko R. V., <sup>2</sup>Buts Y. V.

<sup>1</sup>National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkov, Ukraine

<sup>2</sup>V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkov, Ukraine

## ENVIRONMENTALLY SAFE METHOD OF LOCALIZATION OF SOIL POLLUTION IN EMERGENCY SITUATIONS OF TECHNOGENIC NATURE

**Purpose.** Development a method for the localization of emergencies associated with the leakage of volatile toxic liquids, by using the foams with adjustable curing time.

**Methods.** Surface insulation method of the spilled toxic liquid by using the air-mechanical foam.

**Results.** The results of the development a method for the localization of emergencies associated with the leakage of volatile toxic liquids, by using the foams with adjustable curing time are presented. The new scientific

© Слепужников Е. Д., Петухов Р. А., Пономаренко Р. В., Буц Ю. В., 2019



This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

result consists in the use of gelation processes, to obtain an insulating agent with a specified time of curing. It has been established that the most effective means that reduce the rate of transition of toxic liquids to the gas phase are those that ensure the liquid surface isolation. It is proposed to use foam with the time of cure that can be adjusted. Experimentally determined gel times for two gel forming systems ( $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  and  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ ). On the basis of the data obtained, the concentrations of the gel formulation and the gelation catalyst with the gel time were selected in the interval of 30-60 s.

**Conclusions.** The developed systems allow to achieve a long process of isolation at a lower specific consumption of components. It is shown that the use of the proposed components in the soil is an environmentally safe process.

**KEYWORDS:** soil, hardening foam, toxic liquid, gelation, absorbent, catalyst, foaming agent

<sup>1</sup>Слепужников Є. Д., <sup>1</sup>Петухов Р. А., <sup>1</sup>Пономаренко Р. В., <sup>2</sup>Буц Ю. В.

<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

<sup>2</sup>Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна

## ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИЙ МЕТОД ЛОКАЛІЗАЦІЇ НАСЛІДКІВ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ

**Мета.** Розробити метод локалізації надзвичайних ситуацій, пов'язаних з витоком летючих токсичних рідин, шляхом використання піни з регульованим часом тверднення.

**Методи.** Метод ізоляції поверхні пролітої токсичної рідини повітряно-механічною піною.

**Результати.** Представлені результати розробки методів локалізації надзвичайних ситуацій, пов'язаних з витоком летючих токсичних рідин, шляхом використання піни з часом тверднення, що можливо регулювати. Новий науковий результат полягає у використанні процесів гелеутворення, для отримання ізолюючого засобу з заданим часом твердіння. Встановлено, що найбільш ефективними засобами, які зменшують швидкість переходу токсичних рідин в газову фазу є такі, які забезпечують ізоляцію поверхні рідини. Запропоновано використовувати піни з регульованим часом тверднення. Експериментально визначені часи гелеутворення для двох гелеутворюючих систем ( $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  і  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ ). На основі отриманих даних обрані концентрації гелеутворювача та каталізатора гелеутворення з часами гелеутворення в інтервалі часу 30-60 с.

**Висновки.** Розроблені системи дозволяють досягнути тривалого процесу ізоляції при меншій питомій витраті компонентів. Використання запропонованих компонентів у ґрунтах є екологічно безпечним процесом.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ґрунт, піна швидкого тверднення, токсична рідина, гелеутворення, абсорбуюча речовина, каталізатор, піноутворювач

## Введение

Украина является страной с развитой химической промышленностью. Большинство предприятий химической, целлюлозно-бумажной, нефтехимической, оборонной промышленности являются химически опасными объектами (ХОО). Большие объемы опасных химических веществ (ОХВ) находятся на предприятиях черной и цветной металлургии, на объектах пищевой, мясомолочной промышленности, холодильниках продовольственных баз, жилищно-коммунальном хозяйстве. Производство, транспортировка и хранение ОХВ строго регламентировано специальными правилами техники безопасности и контроля. Несмотря на это, при крупных промышленных авариях, катастрофах, пожарах и стихийных бедствиях, могут возникать разрушения производственных зданий, складов, емкостей, технологических линий, трубопроводов и др. В результате значительные количества ОХВ могут попадать в

окружающую среду: на поверхность почвы, в атмосферу и распространяться по территории населенных пунктов, что может быть причиной массовых отравлений работников производств и населения.

Основным поражающим фактором при чрезвычайных ситуациях (ЧС) с попаданием опасных химических веществ в окружающую среду является ингаляционное влияние на людей и животных высоких концентраций паров таких веществ. За небольшим количеством исключений опасные концентрации паров химически опасных веществ могут создавать жидкие вещества. В случае с утечкой ОХВ в жидком агрегатном состоянии первоочередной задачей является предотвращение распространения опасного химического вещества в пространстве, в частности, в почвах. Аварийно-спасательные подразделения Украины и мира неоднократно успешно ликвидировали чрезвычайные ситуа-

ции подобного характера. При этом важной и актуальной проблемой является повышение эффективности локализации ЧС с разливом токсичных жидкостей.

При локализации источника заражения, основной задачей является предотвращение формирования облака зараженного воздуха и недопущения его распространения в атмосфере. Этого можно достичь путем уменьшения скорости его испарения или поглощения паров различными абсорбентами в почве [1]. В большинстве случаев в качестве абсорбентов паров жидкости используют воду. Этот метод реализуется постановкой водяных 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 только разбавляются воздухом.

Уменьшить скорость испарения жидкости можно рядом способов. Можно уменьшить площадь испарения токсичной жидкости путем обвалования пролива, сбора жидкой фазы в приемки-ловушки, засыпки пролива сыпучими сорбентами [3]. Также используются методы покрытия зеркала пролива полимерной пленкой, разведение пролива водой или нейтрализующим раствором, а также введением в жидкую фазу загустителей [4].

Наиболее широкое распространение получил метод изоляции поверхности пролитой токсичной жидкости воздушно-механической пеной. Главными проблемами, с которыми приходится сталкиваться оперативно-спасательными подразделениями при локализации проливов токсичных жидкостей в почву является малое время действия изолирующих средств (пен) и большие расходы абсорбирующих веществ, а также относительно быстрое разрушение пены в результате воздействия на нее различных факторов [5].

Для устранения перечисленных недостатков воздушно-механических пен было предложено использовать гелеобразующие составы (ГОС) [6]. Гелеобразный слой может выполнять не только огнетушащую функцию, но и обеспечивать изоляцию поверхности токсичных жидкостей [7]. Эту способность гелеоподобных слоев было предложено использовать для тушения горючих жидкостей [8]. При этом для обеспечения плавучести слоя геля в жидкостях было предложено использовать легкий негорючий носитель – гранулированное пеностекло.

Предыдущие исследования показали, что бинарный слой пеностекло-гель остается стабильным на поверхности бензина в течение нескольких суток.

Этот способ снижения испарения имеет свои недостатки. Во-первых, для образования бинарного слоя нужно три отдельные системы подачи для гранулированного пеностекла, гелеобразователя и катализатора гелеобразования. Вторым недостатком такой системы является необходимость нанесения сплошного слоя геля на гранулы пеностекла. А сплошной слой образуется при толщине не менее 6 мм, что соответствует удельному расходу компонентов ГОС  $\sim 0,6 \text{ г/см}^2$ . Такой удельный поверхностный расход гораздо больше, чем при использовании воздушно-механических пен.

Еще одним из способов решения проблемы изоляции поверхности жидкости предложен в работе [9]. Эта работа является новейшей разработкой ученых ООО «НПО» и «СОПОТ». Средство представляет собой водонаполненную композицию, на основе которой из жидкого компонента А в результате смешивания с компонентом Б и воздухом образуется гелеобразная вспененная субстанция (твердеющая пена), которая имеет повышенную огнестойкость. Но так как данная разработка ориентирована на пожаротушение, вопрос изоляции от испарения остается открытым. Другим недостатком такого средства изоляции является использование токсичных и агрессивных химических веществ (уксусная и хлороводородная кислоты). Еще одним из предложенных компонентов, который в случае его использования приводит к выделению газообразного аммиака, является аммония хлорид. Во время смешивания компонентов системы по данным авторов образуется композиция, водородный показатель (рН) которой 10,9-11,5. При таких значениях рН растворы солей аммония выделяют токсичный газ – аммиак. Еще одним из недостатков такой разработки является отсутствие оптимизации состава пенообразующей системы.

Анализ литературы позволяет констатировать, что наиболее рационально в качестве изолирующей системы выбрать пены со временем затвердения, которое возможно регулировать. Для этого предлагается совместить процессы гелеобразования (потери текучести) и пенообразование. Предыдущие попытки провести эти процессы одновременно не дали положительных результатов [10]. Все ранее выбранные ГОС теряли текучесть в очень короткое время, а выделение газа в результате

газообразующей реакции разрушало гель. В предыдущих опытах установлено, что в случае если гелеобразование заканчивается после образования пены, жидкая пена постепенно теряет текучесть [11]. Но такой путь требует установки состава ГОС с таким временем гелеобразования, которое обеспечивает проведение процессов смешивания компонентов, вспенивание жидкости и подачу пены до начала потери композицией текучести. За такое время было принято 30 с. Верхней границей времени гелеобразования избрано 1 минуту. За это время пена не успевает существенно разрушиться.

Таким образом, нерешенной частью проблемы является разработка изолирующего средства, который обеспечил бы длительный процесс изоляции поверхности токсичной жидкости.

Для образования твердой пены из жидких компонентов можно использовать два подхода. В первом используют один раствор, который затвердевает со временем. Этот метод можно реализовать с помощью тиксотропных систем [12].

Для этого готовят тиксотропную композицию с добавлением пенообразователя. Переводят ее в текучее состояние путем интенсив-

ного перемешивания и дальше вспенивают. Через некоторое время композиция теряет текучесть и образуется твердая пена. Но такие твердые пены имеют большую плотность, а тиксотропная композиция в текучем состоянии имеет высокую вязкость. Эти два фактора делают такой подход неприемлемым для целей получения изолирующих покрытий [13].

Второй подход заключается в смешивании нескольких веществ с получением самоотвердеющей смеси, которую до достижения стадии затвердевания вспенивают. В литературе известно большое количество исследований получения низко кратных пен быстрого твердения на основе жидкого стекла и цемента [14]. Однако эти системы были предложены для получения пенобетона, газобетона и литейных форм. Но плотность таких систем не обеспечивает им плавучесть в большинстве жидкостей. Поэтому их невозможно использовать для изоляции токсичных жидкостей.

Но последний подход можно реализовать таким образом, чтобы получить твердую пену с низкой плотностью и выбрать выходные растворы с небольшой вязкостью. Практически это было реализовано в работе [9].

## Материалы

По соображениям, что гелеобразование с регулируемым временем потери текучести, обеспечивают кислотные компоненты, были выбраны кислые соли в отличии от системы, предложенной в работе [9]. В качестве одного из катализаторов гелеобразования избрано широко распространенное вещество, которое используется в качестве азотного удобрения – хлорид аммония ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Водный раствор этой соли имеет  $\text{pH} = 4,4-4,7$ , что делает ее мало агрессивной. Другим катализатором гелеобразования избрано также широко распростра-

ненное вещество – сульфат аммония ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ). Это вещество нетоксично и широкодоступно. В качестве гелеобразователя выбрано жидкое стекло, которое представляет собой полисиликат натрия с силикатным модулем 2,5 ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ ). Последнее вещество относится к III классу опасности.

Во всех случаях использованы вещества, приобретенные в торговой сети и соответствующие классификации по чистоте «Чистый», кроме жидкого стекла, которое соответствует классификации «Технический».

## Результаты и обсуждение

В связи с тем, что потеря текучести системой происходит благодаря гелеобразованию, в качестве количественной характеристики времени потери текучести системой примем время гелеобразования. Для определения времени гелеобразования проведем эксперимент по определению времени гелеобразования при смешивании компонентов ГОС. На время гелеобразования влияет температура, которая во всех опытах составляла  $(20 \pm 2) \text{C}^\circ$ .

В предыдущих опытах установлено, что для обеих систем ( $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ ) гелеобразование не происходит при концентрациях катализатора гелеобразования и гелеобразователя менее 5% и 6%, соответственно. В качестве наибольших концентраций катализаторов гелеобразования выбраны концентрации близкие к максимально возможным (насыщенные

растворы). Для гелеобразователя максимальной концентрацией избрана 23% концентрация. Растворы с большей концентрацией имели чрезмерно высокие вязкости.

Исходные растворы катализаторов гелеобразования готовились весовым методом, путем растворения сухих твердых веществ в воде. Кроме того концентрации их контролировались по плотности растворов, которую определяли с помощью ареометра. Растворы жидкого стекла готовились разбавлением водой исходного концентрата с концентрацией 35%. Массовое содержание  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  ( $\omega_1$ ) в системе после смешивания рассчитывалось по формуле:

$$\omega_1 = \frac{V_1 \cdot \rho_1 \cdot \omega_1^0}{V_1 \cdot \rho_1 + V_2 \cdot \rho_2}$$

где  $\omega_1$  – массовое содержание  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  в концентрате;  
 $V_1, V_2$  – объем концентрата и воды;

$\rho_1, \rho_2$  – плотность концентрата и воды.

Концентрации  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  также контролировались по плотности растворов. Для определения времени гелеобразования сливались по 5 мл растворов гелеобразователя и катализатора гелеобразования в пластмассовый стаканчик. После этого проводилось перемешивание растворов и визуальное наблюдение за потерей текучести путем наклона стаканчиков. Каждый эксперимент проводился 3 раза, после чего рассчитывались средние значения, приведенные в таблицах 1 и 2.

Для дальнейшего исследования потери текучести твердеющими пенами отобраны системы, для которых время гелеобразования находилось в интервале (30 – 60) с.

Для определения времени потери текучести пенами сливались по 50 мл растворов гелеобразователя и катализатора гелеобразования. В каждый раствор добавлено концент-

Таблица 1

Время гелеобразования (в секундах) в системе  $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$

Мас% $\text{NH}_4\text{Cl}$	Мас % $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ .					
	2	3	4	5	6	7
7	-	+	+	+	+	+
6	-	18	15	11	9	+
5	-	48*	40*	32*	29	23
4	-	106	95	89	82	75

+ быстрое образование геля,

- время гелеобразования более 5 минут,

\* - выбраны для дальнейшего исследования системы.

Таблица 2

Время гелеобразования (в секундах) в системе  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$

Мас% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Мас.% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 2,5\text{SiO}_2$ .					
	2	3	4	5	6	7
6	-	-	-	-	-	-
7	-	76	68	61*	52*	45*
8	-	47*	39*	32*	28	+
9	-	32*	25	20	17	+
10	-	25	16	+	+	+
11	-	18	+	+	+	+
12	-	14	+	+	+	+

- время гелеобразования более 10 минут,

\* - выбраны для дальнейшего исследования системы.

рат пенообразователя «Морской» в таком количестве, чтобы его массовое содержание в системе составляло 6%. Сливание происходило в пластиковой емкости объемом 1 л с широкой горловиной. Далее растворы перемешивали

вали в течение 5 с, после чего вспенивались путем интенсивного встряхивания в течение 10 с. Образованная пена выливалась на ровную пластиковую пластину, которая находилась в горизонтальном положении. После этого про-

водилось визуальное наблюдение за потерей текучести пены путем наклона пластиковой пластины на угол  $\sim 45^\circ$  (Рис.).

В случае потери текучести не наблюдалось деформирования пены. Потеря текучести фиксировалась с момента слива компонентов ГОС. Важной для практики характеристикой твердых пен является время их существования.

Процесс локализации чрезвычайных ситуаций, связанных с разливом токсичных летучих веществ, может составлять часы, а в некоторых случаях и несколько суток. Соответствующие результаты приведены в таблице 3.

Для установления времени существования пен исследовано поведение твердых пен во времени.



Рис. – Фиксация потери текучести пеной

Таблица 3

Время затвердения пен (в секундах) для гелеобразующих систем  $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5 \text{SiO}_2$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$

Мас% $\text{NH}_4\text{Cl}$	Мас % $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$				
	3	4	5	6	7
5	50	42	35	30	24
Мас% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$					
	7	80	70	61	52
	8	49	40	34	30

Для этого пены, которые было получено в результате опытов по определению времени потери текучести, оставили на 5 суток в помещении лаборатории. Также дополнительно были проведены опыты с нанесением таких пен толщиной 2, 5 и 10 см на горизонтальные пластиковые поверхности.

Визуальные наблюдения проводились через 2, 4 и 6 часов, и потом через 1, 2, 3, 4 и 5 суток. Установлено, что пены постепенно разрушаются. Скорость разрушения для пен, полученных с помощью различных ГОС, мало отличаются. Первые признаки разрушения пен наблюдаются для пен с толщиной слоя 2 см через 6 часов. Такие слои пены разрушаются на глубину 1 см через 1 сутки. Через 2 суток такой слой пены полностью рассыпается на мелкие частицы, за счет высыхания.

Первые признаки разрушения слоев твердых пен толщиной 5 см наблюдаются че-

рез сутки. Через 2 суток такие слои пены разрушаются на глубину (2-3) см. Через 3 суток наблюдается растрескивание и потеря целостности слоя пены. Через 6 суток наблюдается почти полное рассыпание слоя пены, в нижней части слоя остаются небольшие фрагменты структуры пенного слоя.

Для слоев пены толщиной 10 см через 2 суток наблюдается частичное рассыпание верхнего слоя пены на глубину  $\sim 1$  см. Постепенное высыхание геля из которого сложены стенки пенных ячеек приводит к постепенному разрушению верхнего слоя твердой пены, которое через 6 суток достигает глубины 6-7 см при этом нижний слой пены остается сплошным.

Анализ результатов по установлению времени гелеобразования для ГОС  $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5 \text{SiO}_2$  та  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  и потери текучести пен, полученных с помощью исследуемых ГОС (табл.1, 2 и 3) позволяет сде-

лать вывод, что использование выбранных систем приводит к получению твердых пен с заданным временем затвердения. Это указывает на возможность использования таких пен для целей локализации чрезвычайных ситуаций, связанных с разливом летучих токсичных жидкостей, в качестве изолирующего средства при минимальном воздействии на почвенный покров.

Экспериментально установлено, что время гелеобразования для выбранных систем близко ко времени потери текучести пен. Это указывает на то, что добавление пенообразователя мало влияет на процесс гелеобразования. Зависимость времени гелеобразования от концентраций компонентов ГОС имеет сложный характер. Это подтверждает сложный механизм процесса гелеобразования. Этот процесс состоит из двух основных стадий.

Первая стадия это образование золя кремниевой кислоты. Вторая стадия - соединение мицелл золя к большим агрегатам. На каждую стадию по-разному влияют концентрация компонентов раствора и водородный показатель (рН) раствора. В то же время рН раствора зависит в первую очередь не от концентраций компонентов ГОС, а от соотношения количества

щелочного компонента ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5 \text{SiO}_2$ ) и кислотного компонента ( $\text{NH}_4\text{Cl}$  или  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ). Это приводит к тому, что теоретически сложно выбрать концентрации компонентов ГОС, которые обеспечат нужное время гелеобразования. А это вызывает потребность в экспериментальном подборе этих концентраций.

Тот факт, что время существования твердых пен почти не зависит от состава ГОС можно объяснить тем, что разрушение пен происходит за счет их высыхания. Для исследованных систем твердый каркас геля состоит из одного вещества – кремнегеля, а большую часть дисперсионной среды составляет вода. Наличие в дисперсионной среде других ионов в небольшой концентрации слабо влияет на испарение воды из такой системы.

Исследование времени существования твердых пен указывает на то, что его можно регулировать от нескольких часов до нескольких суток изменяя толщины слоя. Такой временной интервал удовлетворяет требования для экологически безопасного процесса локализации чрезвычайных ситуаций связанных с разливом летучих токсичных жидкостей.

## Выводы

Разработаны гелеобразующие системы с заданным временем потери текучести. Установлено, что наиболее эффективными средствами, которые уменьшают скорость перехода токсичных жидкостей в газовую фазу есть такие, которые обеспечивают изоляцию поверхности жидкости на поверхности почв. С целью изоляции поверхности токсичных жидкостей с почвенного слоя от испарения предложено использовать пены быстрого затвердения. Для обеспечения процесса твердения предложено использовать процесс гелеобразования. На основе исследования процесса образования и затвердения пен подобрано две системы  $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5 \text{SiO}_2$  та  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ , которые обеспечивают время твердения пен от 30 с до 60 с. Установлено, что для получения процесса затвердевания пены необходимо использовать вещества в определенных массовых процентах. Экспериментально установлено, что время гелеобразования для избранных систем близко ко времени потери текучести пен. Это указывает на то, что

добавление пенообразователя мало влияет на процесс гелеобразования.

Экспериментально исследовано время существования пен быстрого твердения. Исследовано поведение пены быстрого твердения во времени. Определены конкретные временные показатели существования пены для различной толщины слоя. Установлено, что время существования таких пен можно изменять от нескольких часов до нескольких суток изменяя толщины слоя. А значит, установлена зависимость между толщиной слоя пены и временем ее существования. Показано, что быстротвердеющие пены по нескольким характеристикам преобладают над воздушно-механическими пенами, на что указывают данные, полученные в ходе эксперимента. Таким образом, пены с регулируемым временем твердения, по времени потери текучести и времени существования соответствуют требованиям экологически безопасного процесса локализации чрезвычайных ситуаций техногенного характера, связанных с разливом летучих токсичных жидкостей в почву.

### Литература

1. Пожаротушение и аварийно-спасательные работы: справочник. / Под общ. ред. О. А. Назарова, Н. Н. Кулешова. Харьков: АЦЗУ, 2006. 376 с.
2. Грек А. М., Сакун О. В., Григорьев О. М. Аварии на радиационно, химически и биологически опасных объектах: справочник. Харьков: ФВП НТУ «ХПИ», 2012. 172 с.
3. Слепужніков Є.Д., Тарахно О.В., Пономаренко Р.В., Буц Ю.В. Удосконалення контролю відбору проб рідких, газоподібних та сипучих речовин при дослідженні техногенного впливу на довкілля. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2018. № 30. . С. 148–157.
4. Бариев Э. Р. Чрезвычайные ситуации с химически опасными веществами. Минск; ИВЦ Минфина, 2008. 256 с.
5. Zasady organizacji dekontaminacji w warunkach szaczenia srodkami CBRN w przypadku zdarzen masowych podczas Swiatowych Dni Mlodziezy / PSPRP Polska. Warszawa, 2016. 20 s.
6. Киреев А. А. Экспериментальное исследование влияния характеристик гелеобразного слоя на его изолирующие свойства по отношению к парам органических жидкостей. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2017. №26. С.43–48.
7. Абрамов Ю. А., Киреев А. А. Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные средства повышенной эффективности применительно к пожарам класса А. Харьков: НУГЗУ, 2015. 254 с.
8. Дадашов И. Ф., Киреев А. А. Повышение эффективности тушения горючих жидкостей в резервуарах путем использования гелеобразующих средств. *Proceedings of Azerbaijan statemarine academy*. 2016. №2. С.72–76.
9. Вспененный гель кремнезема, применение вспененного геля кремнезема в качестве огнетушащего средства и золь-гель способ его получения: пат. 2590379 Российская Федерация. №2015110625/05; заявл. 26.03.2015; опубл. 10.07.2016, Бюл. №19.
10. Киреев А. А., Колонов А. Н. Пути повышения эффективности пенного пожаротушения. *Проблеми пожарной безопасности*. 2008. №24. С.50–53.
11. Киреев А. А., Колонов А. Н. Исследование пенообразования в пенообразующих системах. *Проблеми пожарной безопасности*. 2009. №25. С.59–64.
12. Mewis J. Thixotropy. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2009. P. 214–227.
13. Galla S., Stefanicky B., Majlingova A. Experimental comparison of the fire extinguishing properties of the fire-sorb® gel and water. *Conference Proceedings of 17th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference*. 2017, P. 439–446.
14. Молочкина Д. И. Жидкая самотвердеющая смесь: пат.837551 СССР. №837551; заявл. 12.04.1979; опубл. 15.06.1981, Бюл. №22.

### References

1. Nazarov, O. A., Kuleshov, N. N. (Eds.) (2006). Fire fighting and rescue operations: a guide. Kharkov: ATSZU. (In Russian).
2. Grek, A. M., Sakun, O. V., Grigorov, O. M. (2006). Accidents at radiation, chemically and biologically hazardous objects: a reference book. Kharkov: FVP NTU "KhPI". (In Russian).
3. Slepuzhnikov, E. D., Tarakhno, O. V., Ponomarenko, R. V., Buts, Y. V. (2018). Improving the control of sampling of liquid, gaseous and bulk substances in the study of man-made environmental impact. *Man and the environment. Issues of neoeology*. (30), 148–157. (In Ukrainian).
4. Bariev, E. R. (2008). Emergencies with chemically hazardous substances. Minsk: IVC Minfina. (In Russian).
5. Zasady organizacji dekontaminacji w warunkach szaczenia srodkami CBRN w przypadku zdarzen masowych podczas Swiatowych Dni Mlodziezy (2016). PSPRP Polska. Warszawa. 20.
6. Kireev, A. A. (2017). An experimental study of the influence of the characteristics of a gel-like layer on its insulating properties with respect to vapors of organic liquids. *Problems of suprasubic situations*, (26), 43–48. (In Russian).
7. Abramov, Yu. A., Kireev, A. A. (2015). Gelling extinguishing and fire-retardant means of increased efficiency in relation to class A fires. Kharkov: NUGZU. (In Russian).
8. Dadashov, I. F., Kireev, A. A. (2016). Increasing the efficiency of extinguishing combustible liquids in tanks by using gelling agents. *Proceedings of Azerbaijan statemarine academy*, (2), 72–76. (In Russian).
9. Foamed silica gel, the use of foamed silica gel as a fire extinguishing agent and sol-gel method for its preparation. (2015). US Pat. 2590379 Russian Federation. No. 20151010625/05. (In Russian).
10. Kireev, A. A., Kolenov, A. N. (2008). Ways to increase the efficiency of foam fire fighting. *Fire safety issues*, (24), 50–53. (In Russian).

11. Kireev, A. A., Kolenov, A. N. (2009). The study of foaming in foaming systems. *Fire safety issues*, (25), 59–64. (In Russian).
12. Mewis, J. (2009). Thixotropy. *Advances in Colloid and Interface Science*, V. 147–148, March–June, 214–227.
13. Galla, S., Stefanicky, B., Majlingova A. (2017). Experimental comparison of the fire extinguishing properties of the firesorb® gel and water, *17th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference*, 439–446.
14. Molochkina, D. I. Liquid self-hardening mixture. Pat.837551 SSSR №837551. (In Russian).

Надійшла до редколегії 03.10.2019

Прийнята 20.12.2019