

УДК 614.8.084

*Р. А. Петухов, ад'юнкт ад'юнктури (ORCID 0000-0002-0414-2546)*  
*О. О. Кіреєв, д.т.н., доцент, проф. каф. (ORCID 0000-0002-8819-3999)*  
*Є. Д. Слепужніков, к.т.н., викл. каф. (ORCID 0000-0002-5449-3512)*  
*Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСУ ВТРАТИ ТЕКУЧОСТІ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧИХ СИСТЕМ $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$ та $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , ЯКІ ЗАПРОПОНОВАНО ВИКОРИСТОВУВАТИ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ІЗОЛЮЮЧИХ ПІН

В даній статті представлені результати дослідження втрати текучості гелеутворюючих систем  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$  та  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , які запропоновано використовувати для отримання ізолюючих пін. Новий науковий результат полягає у використанні процесів гелеутворення, для отримання ізолюючого засобу з заданим часом твердіння з оптимальними економічними та екологічними параметрами. Експериментально визначено гелеутворюючі системи з часом втрати текучості від 30 до 60 с і високими економічними та екологічними параметрами. Визначено часи гелеутворення за різних концентрацій компонентів гелеутворюючих систем  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$  та  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Встановлено кількісну залежність часу гелеутворення обраних гелеутворюючих систем від концентрацій обох компонентів. Встановлено, що зі збільшенням концентрацій компонентів гелеутворюючих систем для обох систем зменшується час гелеутворення. Встановлено, що найменша концентрація  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ , яка забезпечує повну втрату текучості, складає 3 %. За економічними та екологічними параметрами з двох досліджених гелеутворюючих систем які запропоновано використовувати для одержання ізолюючих пін обрано систему  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  (3 %) +  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (5 %). Обрані системи дозволяють досягнути тривалого процесу ізоляції при меншій питомій витраті компонентів. Зроблено висновок про доцільність подальшого вивчення досліджених гелеутворюючих систем та використання їх у якості компонентів для одержання пін швидкого тверднення, так як вони за багатьма характеристиками переважають над іншими гелеутворюючими системами. Запропоновано використовувати обрані гелеутворюючі системи для подальшого дослідження ізолюючих властивостей пін швидкого тверднення.

**Ключові слова:** ізолююча піна, токсична рідина, гелеутворення, час втрати текучості, екологічні параметри ізолюючих систем

### 1. Вступ

Величезне регіональне навантаження території України потужними промисловими та енергетичними об'єктами (у 2014 році в Україні функціонувало за даними Державної служби України з питань праці 9424 об'єкта підвищеної небезпеки) збільшує ризик аварій, збитки від яких можна порівняти з розміром національного бюджету середньої країни.

На стан техногенної небезпеки України суттєво впливають промислові об'єкти, де зберігається або використовується понад 300 тис. тон небезпечних хімічних речовин. При виникненні НС на хімічно-небезпечних об'єктах у зони можливого хімічного ураження можуть потрапити понад 250 адміністративно-територіальних одиниць, на яких мешкає понад 17 млн. людей.

Аварійний розлив токсичних рідин можливий на підприємствах по їх переробці, зберіганні, транспортуванні або при технологічному використанні в різних цілях. Значні кількості таких рідин можуть перебувати в резервуарному парку виробництва для забезпечення запасу речовини на три доби роботи технологічного циклу, що для великих підприємств досягає тисяч тонн токсичних рідин. У разі розгерметизації резервуарів утворюється зона загазованості. Для запобігання

утворенню хмари токсичних рідин необхідно ізолювати поверхню аварійного розливу або використовувати інші методи зниження інтенсивності випаровування.

На хімічно небезпечному об'єкті в розпалі аварії можуть діяти декілька факторів ураження: пожежа, вибухи, хімічне зараження повітря і місцевості та інші, а за межами об'єкта – зараження навколишнього середовища. Дія НХР на органи дихання частіше, ніж через інші шляхи, призводить до ураження людей та реалізується на великих відстанях і значних площах які залежать від швидкості вітрового переносу. Для більшості НХР характерна тривалість зараження навколишнього середовища та прояв віддалених ефектів ураження людей і об'єктів біосфери.

Таким чином, одним з важливих напрямків діяльності оперативно-рятувальних підрозділів ДСНС є запобігання і ліквідація аварій за участі токсичних, в тому числі полярних рідин. Однак, розлив полярних рідин, по ряду причин представляє великі труднощі [1].

Виходячи з цього головною метою та завданням аварійно-рятувальних підрозділів ДСНС є локалізація зони хімічного ураження з одночасною евакуацією людей з небезпечного місця та припинення виходу НХР в навколишнє середовище. При локалізації проливів токсичних рідин, проблемою, з якою доводиться стикатися оперативно-рятувальним підрозділам являється малий час дії ізолюючих засобів (пін) і великі витрати абсорбуючих речовин (розпорошені струменя).

Отже, актуальність даної теми обумовлена тим, що є необхідність у покращенні ізолюючих властивостей і збільшенні часу життя пін, як засобів локалізації осередків з розливом токсичних рідин.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

На сучасному етапі розвитку суспільства доволі частими є проблеми забезпечення безпеки людини та навколишнього середовища. За останнє десятиліття спостерігається стійка тенденція зростання кількості аварій які супроводжуються розливом токсичних рідин. В залежності від ряду факторів (характер руйнування, маса продукту, токсичність та ін.) аварійна ситуація призводить до забруднення атмосфери парами токсичної рідини з навколишнім середовищем.

Численні приклади аварійних розливів токсичних рідин з подальшим випаровуванням її показують, що вони представляють велику небезпеку для навколишнього середовища через забруднення ґрунтів, ґрунтових та поверхневих вод, гибелі від токсичних парів флори та фауни [2]. Практичний досвід свідчить про те, що ліквідація аварій, пов'язаних з розливом токсичних рідин, потребує багато часу та засобів для їх збору та утилізації. При ліквідації аварій важливим є запобігання випаровування токсичної рідини.

Наразі відомо декілька способів зменшення швидкості випаровування токсичної рідини. Можна зменшити площу випаровування токсичної рідини шляхом обвалування протоки, збору рідкої фази в приямки-пастки, засипки протоки сипучими сорбентами [3–5]. Також використовуються методи покриття дзеркала протоки полімерною плівкою, розведення протоки водою або нейтралізуючим розчином, а також введенням в рідку фазу загусників [6].

Найбільш широкого поширення отримав метод ізоляції поверхні пролітою токсичної рідини повітряно-механічною піною [3–7]. Але даний метод має свої недоліки. Це короткий час існування ізолюючого засобу, через те що на піну постійно діють зовнішні фактори які прискорюють її руйнування, що призводить до необхідності майже безперервної подачі піни. Звідси наступний недолік, це великі витрати абсорбуючих речовин та води.

Для усунення перерахованих недоліків повітряно-механічних пін було запропоновано використовувати гелеутворюючі склади (ГУС) [8, 9]. Гелеподібний шар може виконувати не тільки вогнегасну функцію, а й забезпечувати ізоляцію поверхні токсичних рідин [10]. Цю здатність гелеподібних шарів було запропоновано використовувати для гасіння горючих рідин [11]. При цьому, для забезпечення плавучості шару гелю в рідинах було запропоновано використовувати легкий негорючий носій – гранульоване піноскло. Цей спосіб зниження випарування має свої недоліки. По-перше для утворення бінарного шару потрібно три окремі системи подачі компонентів та необхідність нанесення суцільного шару гелю на гранули піноскла, що плавають. Це призводить до великої питомої витрати компонентів ГУС  $\sim 0,6 \text{ г/см}^2$ .

Ще одним зі способів рішення проблеми ізоляції поверхні рідини, є використання пін швидкого тверднення [12]. В роботі [13] було досліджено спосіб отримання піни швидкого тверднення за участю таких каталізаторів гелеутворення як дигідрофосфат калію ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) та гідрокарбонат натрію ( $\text{NaHCO}_3$  – харчова сода). В якості гелеутворювача обрано рідке скло, яке представляє собою полісилікат натрію з силікатним модулем 2,5 ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ ).

В попередній роботі [13] було обґрунтовано можливість використання для ізоляції поверхні токсичної рідини пін з часом твердіння, що можливо регулювати. Для одержання таких пін було запропоновано поєднати процеси гелеутворення (втрати текучості) і піноутворення. Такий шлях потребує встановлення складу ГУС з таким часом гелеутворення, який забезпечує проведення процесів змішування компонентів, спінювання рідини і подавання піни до початку втрати композицією текучості. За такий час було прийнято 30 с. Верхньою межею часу гелеутворення обрано 1 хвилину. За цей час піна не встигає суттєво зруйнуватися.

В роботі [13] було досліджено залежність часу гелеутворення (втрати текучості) від концентрації компонентів ГУС для двох систем –  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + \text{KH}_2\text{PO}_4$  і  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + \text{NaHCO}_3$ . В результаті цих досліджень було встановлено склад відповідних ГУС який забезпечує час гелеутворення від 30 до 60 с. Також було показано, що час втрати текучості піни, яку отримано на основі цих ГУС близький до часу гелеутворення відповідної системи.

Недоліком цих двох систем є досить великі концентрації компонентів ГУС. Обрані концентрації для  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  складають (9–14) мас.%, для  $\text{NaHCO}_3$  і  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (8–18) мас. %. Такі великі концентрації розчинів компонентів ГУС призводять до здороження ізолюючого засобу, що розробляється. Також це знижує його екологічні параметри. З цих міркувань доцільно встановити такі системи, які задовольняють встановленим вимогам за часом гелеутворення, але будуть мати високі економічні та екологічні параметри. Це потребує проведення відповідних додаткових досліджень ГУС.

### 3. Мета та завдання дослідження

Метою досліджень є експериментальне знаходження гелеутворюючих систем з часом втрати текучості від 30 до 60 с і високими економічними та екологічними параметрами. Для цього потребують вирішення наступні завдання:

1. Експериментально визначити час гелеутворення за різних концентрацій компонентів ГУС  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$  та  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .
2. Встановити кількісну залежність часу гелеутворення обраних ГУС від концентрацій обох компонентів.

#### 4. Матеріали та методи досліджень гелеутворюючих систем

Вибір ГУС, які забезпечують можливість змінювати час гелеутворення базуються на раніше проведених дослідженнях концентраційних областей швидкого гелеутворення [10]. З 34 досліджених ГУС доцільно обрати тільки силікатні системи (табл. 1), які забезпечують одержання високої міцності шару гелю.

Попередніми дослідженнями встановлено, що всі системи в яких в якості каталізатора гелеутворення використовують солі двох або трьохвалентних металів (системи 1–7 і 13–16) викликають швидке гелеутворення за малих концентрацій компонентів ГУС. Але подальше зменшення концентрації ГУС призводить до утворення аморфних осадів а не гелів. Це призводить до унеможливлення використовувати ці системи для цілей створення пін з регульованим часом втрати текучості.

Табл. 1. Значення мінімальних концентрацій компонентів гелеутворюючої системи ( $\omega_1$ ) і ( $\omega_2$ ), що викликають швидке гелеутворення для різних систем

№ з/п	Перший компонент	Другий компонент	Основний продукт реакції	$\omega_1$ , %	$\omega_2$ , %
Силікатні системи					
1	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$\text{CaCl}_2$	$\text{CaO} \cdot n\text{SiO}_2$	3	3
2	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$\text{MgCl}_2$	$\text{MgO} \cdot n\text{SiO}_2$	5	4
3	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$\text{MgSO}_4$	$\text{MgO} \cdot n\text{SiO}_2$	5	4
4	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$\text{FeSO}_4$	$\text{FeO} \cdot n\text{SiO}_2$	5	4
5	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$\text{FeCl}_3$	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3n\text{SiO}_2$	7	8
6	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$\text{AlCl}_3$	$2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3n\text{SiO}_2$	3,5	3
7	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3n\text{SiO}_2$	4	3
8	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$\text{NH}_4\text{Cl}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$	8	8
9	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$\text{NH}_4\text{Br}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$	8	10
10	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$	8	12
11	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$	12	6+6
12	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$	12	13
13	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$\text{AlBr}_3$	$2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3n\text{SiO}_2$	3	4
14	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$\text{MgCl}_2 + \text{CaCl}_2$	$\text{MgO} \cdot n\text{SiO}_2 + \text{CaO} \cdot n\text{SiO}_2$	3,5	3,5
15	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$\text{AlCl}_3 + \text{CaCl}_2$	$2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3n\text{SiO}_2 + \text{CaO} \cdot n\text{SiO}_2$	3	3,5
16	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	$\text{AlCl}_3 + \text{AlBr}_3$	$2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3n\text{SiO}_2$	3	3,5

Системи 8–12 показали можливість регулювання часу гелеутворення шляхом зміни концентрацій компонентів ГУС. Системи 9 і 11 були виключені з подальших досліджень за економічними і екологічними показниками. Система 12 показала можливість регулювати час гелеутворення в обраних межах в разі використання складів зі змістом  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  20% і рідкого скла від 7 до 10 %. Системи 8 і 10 дали позитивні результати під час попередніх досліджень і були обрані для подальших більш детальних досліджень.

З метою пошуку найбільш дешевої, ефективної та екологічно безпечної системи, для дослідів було обрано дві ГУС -  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$  та  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

Для досягнення поставленої мети для кожної з речовин були зроблені по декілька розчинів з різними концентраціями цих речовин, таким чином щоб концентрація їх була мінімальною, а гелеутворення відбувалось в заданому інтервалі часу.

За результатами попередніх експериментальних досліджень концентраціями гелеутворювача були обрані 3, 4, 5 та 6 % водні розчини. Для каталізатора гелеут-

ворення (система 1) ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), обрані концентрації 4–6,5 % водні розчини з інтервалом 0,5%. Для каталізатора гелеутворення (система 2) ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), обрані концентрації 7–12 % водні розчини з інтервалом 0,5 %.

При змішуванні 2 % р-ну рідкого скла з усіма варіантами концентрацій каталізаторів гелеутворення, утворювався аморфний осад який не забезпечував повної втрати текучості. В разі концентрацій більших ніж обрано для кількісного визначення часу гелеутворення втрата текучості відбувалась за час менший за 5 с.

Робочі розчини каталізаторів гелеутворення готувались об'ємним методом з насичених розчинів  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  і  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (концентрати) з використанням формули:

$$\omega_1 = \frac{V_1 \cdot \rho_1 \cdot \omega_1^0}{V_1 \cdot \rho_1 + V_2 \cdot \rho_2}, \quad (1)$$

де  $\omega_1$  – масовий вміст речовини у концентраті;  $V_1, V_2$  – об'єм концентрату і води;  $\rho_1, \rho_2$  – густина концентрату і води.

Робочі розчини гелеутворювача готувались об'ємним методом з рідкого скла з концентрацій 36 мас. %. Густини розчинів гелеутворювача та каталізатора гелеутворення визначалися аерометричним методом.

Процедура визначення часу втрати текучості була наступною. Зливали однакові об'єми робочих розчинів (по 10 мл) каталізатора гелеутворення та гелеутворювача і змішували їх протягом 5 с. Після розмішування компонентів спостерігали за поведінкою системи, та візуально фіксували час втрати системою текучості. Дослідження проводились при температурі навколишнього середовища  $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Для кожної комбінації концентрацій компонентів ГУС дослід проводився три рази.

## 5. Результати експериментального дослідження гелеутворюючих систем

Для кожної комбінації концентрацій компонентів ГУС дослід проводився три рази. На цій основі розраховувалось середнє арифметичне значення часу втрати текучості. Відповідні експериментальні результати щодо впливу концентрацій компонентів ГУС на час гелеутворення представлені на рис. 1 та рис. 2.

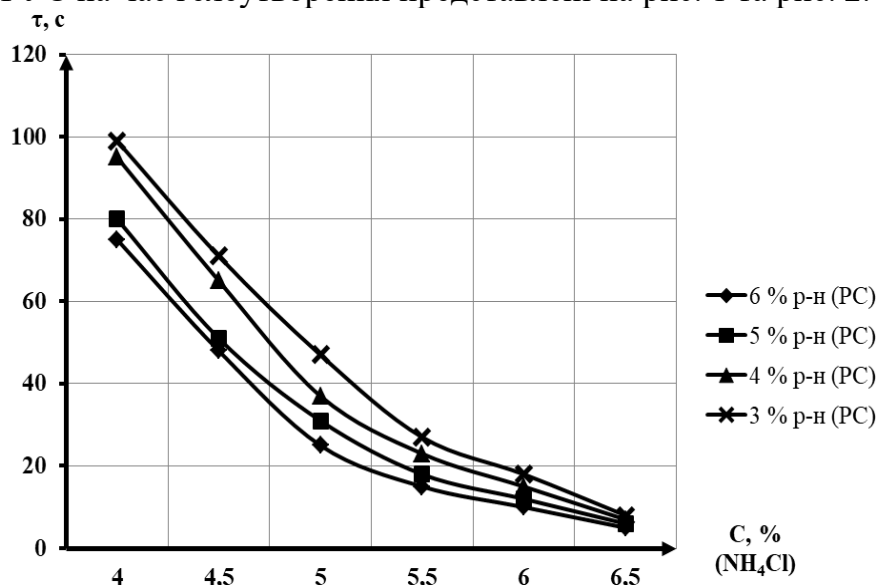


Рис. 1. Залежність швидкості гелеутворення ( $\tau, \text{с}$ ) від концентрації каталізатора гелеутворення ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) для різних концентрацій гелеутворювача (PC) – рідкого скла ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ )

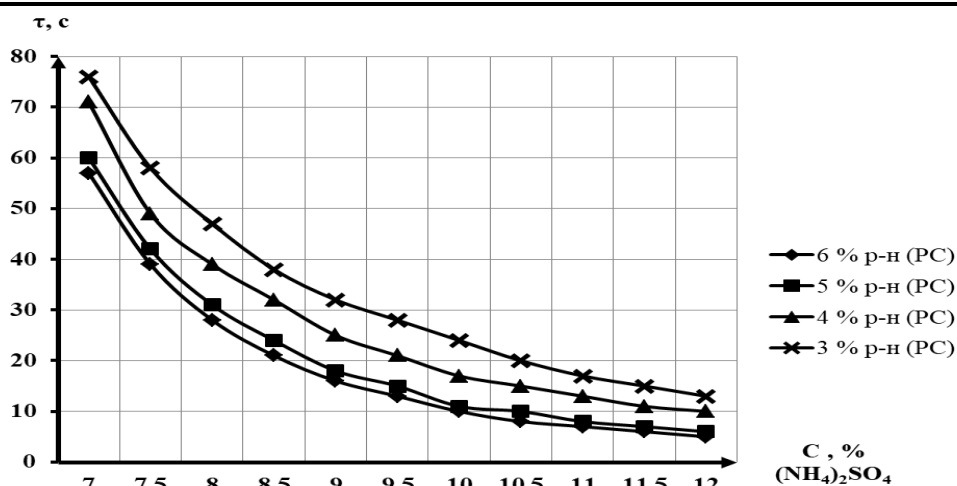


Рис. 2. Залежність швидкості гелеутворення ( $\tau, \text{с}$ ) від концентрації каталізатора гелеутворення  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  для різних концентрацій гелеутворювача (PC) – рідкого скла  $(\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2)$

Відтворюваність результатів складала  $\pm 5$  с для часу гелеутворення до 25 с і  $\pm 10$  с для більших часів гелеутворення.

Результати спостережень за поведінкою гелю, що утворився дозволяють констатувати, що його міцність поступово зростає протягом 2–5 хвилин. З часом гель поступово втрачає масу за рахунок поступового випаровування вологи. Через 3–4 доби поверхневий шар гелю перетворюється в ксерогель (сухий гель), який втрачає цілісність і поступово обсипається. Змочування шару гелю водою не призводить до відновлення його цілісності і міцності.

## 6. Обговорення результатів дослідження гелеутворюючих систем

Загальним висновком по впливу концентрацій гелеутворювача та каталізатора гелеутворення на час втрати текучості для обох досліджених систем є зменшення часу гелеутворення зі збільшенням концентрацій компонентів ГУС.

В разі зміни концентрації  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  в інтервалі 3–6 % порівняння двох ГУС дозволяє встановити, що однаковий час втрати текучості для системи з каталізатором гелеутворення  $\text{NH}_4\text{Cl}$  досягається за менших концентрацій ніж для каталізатора гелеутворення  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Так час втрати текучості в інтервалі 30–60 с досягається для ГУС-1 при концентраціях  $\text{NH}_4\text{Cl}$  в інтервалі 4,5–5,5 мас.%, тоді як для ГУС-2 в інтервалі 7–9 мас.%  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

Однією з суттєвих характеристик ГУС є її економічні параметри. З усіх речовин, які використовуються в досліджених ГУС найбільшу вартість має полісилікат натрію. Цей компонент також є найбільш токсичним. Його розчин має лужну реакцію середовища ( $\text{pH} \geq 12$ ). Він може викликати подразнення шкіряних покривів. Також небезпечно вдихання аерозолів цієї речовини. Особливу небезпеку викликає його потрапляння в очі. З цих міркувань доцільно обрати в якості каталізатора гелеутворення склад з найменшим вмістом полісилікату натрію.

Найменша концентрація  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ , яка забезпечує повну втрату текучості складає 3 %. Для такої концентрації гелеутворювача з графіків наведених на рис. 1 і 2 можна встановити область концентрацій каталізатора гелеутворення яка забезпечує час втрати текучості в межах 30 – 60 с. Вони складають для  $\text{NH}_4\text{Cl}$  4,7–5,4 %, а для  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  7,5–9,2. Таким чином з двох досліджених ГУС для цілей одержання піни швидкого тверднення обрано систему  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  (3 %) +  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (5 %).

## 7. Висновки

1. Встановлено, що зі збільшенням концентрацій компонентів ГУС для обох систем зменшується час гелеутворення. В разі зміни концентрації  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  в інтервалі 3–6 % час втрати текучості в інтервалі 30–60 с досягається для  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$  при концентраціях  $\text{NH}_4\text{Cl}$  в інтервалі 4,5–5,5 мас.%, а  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  в інтервалі 7–9,2 мас.%  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

2. Найменша концентрація  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ , яка забезпечує повну втрату текучості складає 3 %. Для такої концентрації гелеутворювача область концентрацій катализатора гелеутворення яка забезпечує час втрати текучості в межах 30–60 с складуть для  $\text{NH}_4\text{Cl}$  4,7–5,4 %, а для  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  7,5–9,2 %. За економічними та екологічними параметрами з двох досліджених ГУС які запропоновано використовувати для одержання ізолюючих пін обрано систему  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  (3 %) +  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (5 %).

## Література

1. Боровиков В. О., Чеповський В. О., Слущка О. М. Рекомендації щодо гасіння пожеж у спиртосховищах, що містять етиловий спирт, затверджені МНС України. УкрНДІПБ, 2009. 76 с.

2. Есимсиитова З. Б., Кожамжарова А. С., Аблайханова Н. Т., Журавель І. А., Манкибаева С. А., Тлеубеккызы П., Жаркова І. М. Изучение влияния токсических веществ на организм // Вестник КазНМУ, 2018. № 1. 287 с.

3. Пожежогасіння та аварійно-рятувальні роботи. Довідник / За загальною редакцією Назарова О. О., Кулешова М. М. Харків: АЦЗУ, 2006. 376 с.

4. Аварії на радіаційно, хімічно та біологічно небезпечних об'єктах. Довідник / Грек А. М., Сакун О. В., Григорєв О. М. та ін. Харків: ФВП НТУ «ХП», 2012. 172 с.

5. Довідник рятувальника / За загальною редакцією В. І. Балогі. Львів: СПОЛОМ, 2012. 712 с.

6. Korolchenko A. Ya., Sharovarnikov S. A. The Extinction of composite fuels' flames by means of fluorine-containing foaming agents. Fire Safety Journal, 1997. P. 187–188.

7. Бариев Э. Р. Чрезвычайные ситуации с химически опасными веществами / ИВЦ Минфина. Минск, 2008. 256 с.

8. 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.

9. Tafreshi A. M., Di Marzo M. Foams and gels as fire protection agents. Fire Safety Journal, 1999. P. 295–305.

10. Абрамов Ю. А., Киреев А. А. Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные средства повышенной эффективности применительно к пожарам класса А. Харьков: НУГЗУ, 2015. 254 с.

11. Дадашов И. Ф., Киреев А. А. Повышение эффективности тушения горючих жидкостей в резервуарах путем использования гелеобразующих средств // Proceedings of Azerbaijan state marine academy, 2016. № 2. С. 72–76.

12. 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.

13. Петухов Р. А., Трегубов Д. Г., Жернокльов К. В., Савченко О. В. Підвищення ефективності локалізації надзвичайних ситуацій пов'язаних з розливом лев  
civil security. DOI: 10.5281/zenodo.3648006

тучих токсичних рідин шляхом використання пін із заданим часом тверднення // Проблеми надзвичайних ситуацій, 2019. № 29. С. 37–46.

**R. Pietukhov, Cadet**

*A. Kireev, DSc, Associate Professor, Professor of the Department*

*E. Slepuzhnikov, PhD, Lecturer of the Department*

*National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

## INVESTIGATION OF THE TIME LOSS OF FLUIDITY OF GEL-FORMING SYSTEMS $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$ та $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , WHICH IT IS SUGGESTED TO USE FOR OBTAINING INSULATING FOAMS

This article presents the results of a study of the fluidity loss of gel-forming systems  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$  and  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , which it is suggested to use for obtaining insulating foams. A new scientific result is the use of gel-forming processes to obtain an insulating agent with a predetermined curing time with optimal economic and environmental parameters. Gel-forming systems with a time loss of fluidity from 30 to 60 s and high economic and environmental parameters were experimentally determined. The gelation times at different concentrations of the components of the gel-forming systems  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$  and  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  were determined. The quantitative dependence of the gelation time of the selected gel-forming systems on the concentrations of both components is established. It is established that with increasing concentrations of the components of the gel-forming systems for both systems, the gel-forming time decreases. The lowest concentration of  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  was found to provide a total loss of fluidity of 3%. The economic and environmental parameters of the two investigated gel-forming systems that are proposed to be used for the preparation of insulating foams are the  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$  (3%) +  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (5%) system. Selected systems allow for a long isolation process with less specific component consumption. The conclusion is made about the expediency of further study of the investigated gel-forming systems and their use as components for obtaining fast-hardening foams, since they prevail over other gel-forming systems by many characteristics. It is proposed to use selected gel-forming systems to further investigate the insulating properties of fast curing foams.

**Keywords:** insulating foam, toxic liquid, gel formation, time of loss of fluidity, ecological parameters of insulating systems

### References

1. Borovikov, V. O., Chepovskyi, V. O., Slucka, O. M. (2009). Rekomendatsiyi shchodo hasinnya pozhezh u spyrtoskhovyshchakh, shcho mistyat etylovyy spyrt, zatverdzeni MNS Ukrayiny. UkrNDIPB, 76.
2. Esimsitova, Z. B., Kozhamzharova, A. S., Ablayhanova, N. T., Zhuravel, I. A., Mankibaeva, S. A., Tleubekkizi, P., Zharkova, I. M. (2018). Izucheniye vliyaniya toksicheskikh veshchestv na organizm. Vestnik KazNMU, 1, 287.
3. Nazarov, O. O., Kuleshov, M. M. (2006). Pozhezhogasinnya ta avariynoriatuvalni roboty. Dovidnik. ATsZU, 376.
4. Grek, A. M., Sakun, O. V., Grygoryev, O. M. (2012). Avaryy na radiaciyno, himichno ta biologichno nebezpechnykh ob'yekтах. Dovidnik. FVPNTU «KhPI», 172.
5. Dovidnik ryatuvalnika. Za zagalnoyu redaktsiyu V. I. Balogy. (2012). Lviv: SPOLOM, 712.
6. Korolchenko, A. Ya., Sharovarnikov, S. A. (1997). The Extinction of composite fuels' flames by means of fluorine-containing foaming agents. Fire Safety Journal, 187–188.
7. Bariev, E. R. (2008). Chrezvyichaynyie situatsii s himicheskimi opasnyimi veshchestvami. Minsk: IVC Minfina, 256.
8. Kireev, A. A. (2017). Eksperimentalnoe issledovanie vliyaniya harakteristik geleobraznogo sloya na ego izoliruyushchie svoystva po otnosheniyu k param organicheskikh zhidkostey. Problemi nadzvichaynih situatsiy, 26, 43–48.



9. Tafreshi A. M., Di Marzo M. (1999). Foams and gels as fire protection agents. *Fire Safety Journal*. 295–305.

10. Abramov, U. A., Kireev, A. A. (2015). Geleobrazuyuschie ognnetushaschie I ognzaschitnyie sredstva povyishennoy effektivnosti primenitelno k pozharam klassa A. Kharkov: NUGZU, 254.

11. Dadashov, I. F., Kireev, A. A. (2015). Povyishenie effektivnosti tusheniya goryuchih zhidkostey v rezervuarah putem ispolzovaniya geleobrazuyuschiy sredstv. *Proceedings of Azerbaijan state marin eacademy*, 2, 72–76.

12. Vspenennyiy gel kremnezema, primenenie vspenogo gelya kremnezema v kachestve ognnetushaschego sredstva I zol-gel sposob ego polucheniya: pat. 2590379 Rossiyskaya Federatsiya. №2015110625/05; zayavl. 26.03.2015; opubl. 10.07.2016, Byul. 19.

13. Pietukhov, R. A., Tregubov, D. G., Zhernoklyov, K. V., Savchenko, A. V. (2019). Pidvyshchennya efektyvnosti lokalizatsiyi nadzvychaynykh sytuatsiy povyazanykh z rozlyvom letuchykh toksychnykh ridyn shlyakhom vykorystannya pin iz zadanyim chasom tverdnennya. *Problemi nadzvichaynih situatsiy*, 29, 37–46.

Надійшла до редколегії: 10.10.2019

Прийнята до друку: 29.10.2019