

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)
О. В. Савченко, к.т.н., с.н.с., заст. нач. каф. (ORCID 0000-0002-1305-7415)
М. А. Чиркіна, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-2060-9142)
 Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ІЗОЛЮЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІН ШВИДКОГО ТВЕРДНЕННЯ

Запропоновано використовувати піни швидкого тверднення отримані на основі гелеутворюючої системи $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ (9 % р-н) + NaHCO_3 (9 % р-н). в якості ефективного ізолюючого засобу по відношенню до парів органічних токсичних рідин. В якості досліджуваної токсичної рідини було обрано бензен. Проведено дослідження плавучості піни швидкого тверднення на поверхні бензену. Досліджено процес притоплювання піни швидкого тверднення. Встановлено що піна швидкого тверднення зберігає свою цілісність та плавучість більше ніж 2 доби без повторного нанесення на поверхню бензену. Було проведено дослідження ізолюючих характеристик піни швидкого тверднення двома методами. Перший – метод фіксації втрати маси бензену. Другий – метод вимірювання концентрації парів бензену над його поверхнею за допомогою портативного багатоканального газоаналізатора Dräger X-am 7000 (Німеччина). Для підвищення стійкості та ізолюючих властивостей піни швидкого тверднення запропоновано до складу гелеутворюючої системи додавати водорозчинений полімер – натрієву сіль карбометилцелюлози. Встановлено, що найвищою стійкістю та найбільшими ізолюючими властивостями володіє система $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ (9 % р-н) + NaHCO_3 (9 % р-н) + карбом етилцелюлоза (0,5% об.) + піноутворювач «Морський» (6% об.). Запропоновано ізолюючий засіб близький за ізолюючими властивостями раніше запропонованим ізолюючим матеріалам на основі силікатів, однак має над ними перевагу в більшій простоті нанесення на шар рідини. Отримані результати свідчать про те що піна товщиною 5 см уповільнює випаровування бензену в 9 разів та зменшує концентрацію парів бензену над поверхнею піни швидкого тверднення на висоті 2 см. в 5 разів. Зроблено висновок про доцільність використання цієї піни швидкого тверднення для ліквідування наслідків надзвичайних ситуацій пов'язаних з розливом токсичних рідин.

Ключові слова: піна швидкого тверднення, карбоксиметилцелюлоза, гелеутворення, ізолюючі властивості, токсична речовина, бензен, плавучість

1. Вступ

В даний час в світі використовується в різних виробничих і побутових цілях близько 6 мільйонів токсичних речовин, багато з них відносяться до групи надзвичайно небезпечних хімічних речовин. Значну частину токсичних речовин складають рідини. Обороти деяких з них становить тисячі тонн [1]. Періодично виникають аварійні ситуації, які призводять до розливу токсичних рідин. На початковому етапі таких аварій основну небезпеку представляють пари рідин. Вони можуть викликати отруєння людей і чинити негативний вплив на флору і фауну.

Для зменшення негативних наслідків таких аварій використовуються ряд методів: постановка рідинних завес; розсіювання і зміщення хмари парів газоповітряним потоком; засипання протоки і поглинання рідини сипучими адсорбційними матеріалами; розбавлення протоки рідини водою або розчинами нейтральних речовин; нейтралізація розчинами хімічно активних реагентів; охолодження протоки холодоагентами; випалювання протоки [2]. Однак в більшості випадків використовується метод ізоляції поверхні рідини повітряно-механічними пінами [3]. Такий метод має ряд недоліків, основним з яких є швидке руйнування піни. Стійкість пін не перевищує декількох десятків хвилин. Процес ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій з розливом токсичних рідин триває від декількох годин до декількох діб. Тому актуальним є розробка ізолюючого засобу з високими ізолюючими властивостями і великим часом збереження працездатності.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В якості альтернативи повітряно-механічним пінам, як ізолюючий засіб з великим часом існування запропоновано використовувати піни швидкого тверднення (ПШТ) [4]. При отриманні ПШТ проводять два послідовних процеси. В першу чергу змішують два компонента гелеутворюючої системи (ГУС) – розчин гелеутворювача і розчин каталізатора гелеутворення. При цьому обидва компонента ГУС містять піноутворювач (ПУ) в кількості 6 мас.%. В подальшому отриману композицію спінують одним з існуючих методів. Після чого піну наносять на поверхню розлитої рідини. Нанесена піна утримується на поверхні рідини і через деякий час твердне за рахунок завершення процесу гелеутворення. При цьому плівки пінних комірок є нетекучою системою – гель.

Час проведення операцій змішування компонентів ГУС, спінування композиції і подачі піни має бути меншим, ніж час втрати текучості гелю. Час втрати текучості гелем регулюється зміною концентрацій компонентів ГУС. В якості гелеутворювача у всіх випадках раніше було запропоновано використовувати рідке скло, яке представляє собою концентрований водний розчин полісилікатів натрію ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$) [5]. В якості каталізаторів гелеутворення були розглянуті раніше досліджені системи [6]. Крім цих систем були досліджені системи з наступними каталізаторами гелеутворення: K_2CO_3 , NaHCO_3 , NaH_2PO_4 . З 37 ГУС прийнятні результати за часами гелеутворення показали системи з наступними каталізаторами гелеутворення кислі солі KH_2PO_4 , NaHCO_3 , NaH_2PO_4 , а також ряд солей амонію – $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. В якості обмежень за часом втрати текучості було вибрано за мінімальну величину 30 секунд. Цього часу достатньо для здійснення операцій починаючи зі змішування компонентів ГУС і закінчуючи подачею піни на поверхню рідини. За найбільший час втрати текучості піни було прийнято 120 секунд. За цей час піна руйнується в незначній мірі.

Для відібраних ГУС концентрація рідкого скла може варіюватися в інтервалі (3 – 12) мас.%, А концентрація каталізаторів гелеутворення (3,5 – 15) мас%. Попередні дослідження показали, що після втрати текучості піни поступово руйнувалися. Візуальні спостереження за процесами руйнування повітряно-механічної піни і ПШТ дозволили встановити, що процеси їх руйнування істотно відрізняються. Для ПШТ руйнування відбувається в основному за рахунок поступового стоншення плівок піни і за рахунок зтікання води під дією гравітаційних сил. У ПШТ руйнування відбувається за рахунок випаровування води з гелевих шарів. Це призводить до сушіння гелю і усадки гелевих шарів, що призводить до їх поступового розтріскування і обсіпання. Останній процес відбувається набагато повільніше ніж процес стікання рідини з плівок піни. Час повного руйнування таких пін доходить до декількох днів. Результати робіт по стійкості ряду ПШТ представлені в публікації [7].

Однак в попередніх роботах було досліджено стійкість піни швидкого тверднення лише на твердій сухій поверхні. Тому, невирішеною частиною проблеми залишається дослідження стійкості піни швидкого тверднення на поверхні токсичної рідини, та дослідження ізолюючих властивостей піни швидкого тверднення.

3. Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є встановлення ізолюючих властивостей пін швидкого тверднення по відношенню до парів токсичних органічних рідин.

Для досягнення поставленої мети потребують вирішення наступні завдання:

1. Експериментально дослідити плавучість піни швидкого тверднення на поверхні органічної небезпечної хімічної речовини.
2. Визначити ізолюючі властивостей піни швидкого тверднення.

4. Матеріали та методи дослідження піни швидкого тверднення

В якості токсичної НХР був обраний бензен (C_6H_6). Він широко використовується в промисловості. Бензен відноситься до класу високонебезпечних речовин (другий клас безпеки) [8]. Він володіє помітною летючістю, може викликати гострі і хронічні отруєння. Через його низьку розчинність в воді неефективні такі методи зменшення його концентрації в повітрі як постановки водяних завіс, розведення потоки рідини водою або розчинами нейтральних речовин. В роботі використовувався бензен, що містить менше 0,4% домішок. Його чистота перевірялась по щільності і показником заломлення.

Рідке скло (РС), що використовується в роботі, мало такі характеристики: густина $1,31 \text{ г / см}^3$; силікатний модуль 2,5; вміст полісилікатів натрію 36 – 38%). Розчини рідкого натрієвого скла готувалися методом розведення. Їх концентрація контролювалась за густиною.

Карбоксиметилцелюлоза – натрієва сіль (КМЦ) використовувалася зі ступенем полімеризації ~ 1000 і ступенем заміщення по карбоксиметильним групам 90–95 [9].

Полівінілхлорид (ПВХ) володів такими фізико-хімічними властивостями – ступенем полімеризації 1200, ступінь гідролізу – 88% і кристалічність – 30%.

Гліцерин мав наступні фізико-хімічними характеристики - щільність $1,260 \text{ г / см}^3$, масова частка основної речовини не менше 99%.

Солі, що використовуються в якості каталізаторів гелеутворення містили не менше 99,5% основної речовини. Розчини солей готувалися ваговим методом. Їх концентрація контролювалася за густиною з використанням ареометричного методу. Для визначення мас речовин використовувалися ваги ТНВ-600 з точністю зважування $\pm 0,01 \text{ г}$.

Для дослідження ізолюючих властивостей було обрано ваговий метод втрати маси токсичної речовини та метод вимірювання концентрації парів токсичної речовини в навколишньому середовищі приладом Dräger X-am 7000 (Німеччина). Для калібрування приладу за бензеном була проведена відповідна процедура. В скляну ємність об'ємом 20,72 л вносились зважена на вагах RADWAG PS 210/C/1 з точністю 1 мг крапля бензену. Після цього ємність герметично зачинялась. Через 30 хвилин знімалися показання приладу. Концентрація бензену в ємності розраховувалась за співношенням:

$$C = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

де m – маса бензену, що випарувалась, мг; V – об'єм, м^3 .

Далі був розрахований коефіцієнт перерахунку показань приладу в концентрацію бензену.

5. Результати дослідження плавучості піни швидкого тверднення

В роботі [10] було встановлено, що в найбільшій ступені стійкість ПШТ підвищує додавання КМЦ. Крім стійкості ПШТ на твердій поверхні необхідно вста-

новити плавучість і стійкість шару ПШТ на поверхні токсичної рідини. В якості такої рідини був обраний бензен. В якості кількісної характеристики плавучості ПШТ (Π) також як і в роботі [11] було вибрано відношення висоти шару ПШТ, що знаходиться над рівнем рідини, до загальної висоті шару ПШТ:

$$\Pi = \frac{h \uparrow}{h} = \frac{h \uparrow}{h \uparrow + h \downarrow}, \quad (2)$$

де $h \uparrow$ – висота шару ПШТ над шаром рідини; h – загальна товщина шару ПШТ; $h \downarrow$ – висота шару ПШТ, що знаходиться нижче рівня рідини.

Дослідження поведінки ПШТ, нанесеної на шар бензену, проводилися в скляних ємностях. Висоти шарів визначалися візуально. Відповідні дані представлені в табл. 1.

Табл. 1. Час виходу бензену на верхню поверхню ПШТ (τ), плавучість пен швидкого твердіння відразу після нанесення на поверхню бензену (Π_0), через 1, 6 і 24 години після нанесення (Π_1 , Π_6 , Π_{24}), для систем: 1 – $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ (9%) + NaHCO_3 (9%) + ПУ(6%) + КМЦ(0,5%), 2 – $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ (9 мас.%) + NaHCO_3 (9%) + ПУ(6%) + ГЦ(20%), 3 – $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ (9 мас.%) + NaHCO_3 (9%) + ПУ(6%) + ПВС(1%)

система	Π_0	Π_1	Π_6	Π_{24}	τ , годин
1	85	65	40	35	>48
2	60	40	0	0	2
3	80	60	40	30	30

На підставі наведених даних можна зробити висновок, що на поверхні бензену піна поступово притоплюється. Це відбувається через поступове заповнення пінних осередків в нижній частині твердої піни. При цьому сам гелевий каркас зберігає свою цілісність, а пінні плівки утворені рідиною втрачають суцільність. З досліджених ПШТ на поверхні рідкого бензену найбільш стійкою є піна на основі системи $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ (9%) + NaHCO_3 (9%) + ПУ «Морський» (6%) + КМЦ(0,5%).

6. Результати дослідження ізолюючих властивостей піни швидкого твердіння

Для дослідження ізолюючих властивостей була обрана ПШТ, яка показала найбільшу стійкість – $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ (9%) + NaHCO_3 (9%) + ПУ(6%) + КМЦ(0,5%), а також цю систему без додавання КМЦ. В якості методу дослідження було обрано ваговий метод втрати маси токсичної речовини та метод вимірювання концентрації парів токсичної речовини в навколишньому середовищі приладом Dräger X-am 7000. У якості токсичної рідини був обраний бензен. Ця речовина відноситься до високо-токсичних речовин. Він має високу летючість і низьку розчинність в воді.

Спочатку була досліджена швидкість випаровування бензену з вільної поверхні. Для цього в циліндричну ємність місткістю 0,5 л заливалося 0,3 л бензену. Після цього ємність встановлювали на електронні ваги безперервного зважування ТНВ-600 і визначали втрату маси бензену за кожну хвилину. Залежність втрати маси бензену виявилася близька до лінійної, що вказувало на швидке встановлення стаціонарного режиму процесу випаровування бензену. Виміри проводилися 20 хвилин. Температура повітря становила $(20 \pm 1)^\circ \text{C}$. На підставі отриманих да-

них розраховувалася масова швидкість випаровування бензену (V) з вільної поверхні по співвідношенню:

$$V = \frac{\Delta m}{\tau \cdot S}, \quad (3)$$

де Δm – зміна маси рідини в результаті її випаровування; τ – час випаровування рідини; S – площа поверхні рідини.

Дослідження проводилися три рази і визначали середній результат. Масова швидкість під час випаровування бензену з вільної поверхні складала $0,97 \cdot 10^{-2} (\text{г/с} \cdot \text{м}^2)$.

Далі проводили дослідження ізолюючих властивостей ПШТ по відношенню до парів бензену. Для цього брали металеву сітку діаметром рівним діаметру металевій ємності і висотою борту 5 см, ставили її на ємність з бенzenом і подавали на неї ПШТ, так щоб висота борта без піни дорівнювала нулю. Потім ставили ємність з сіткою заповненою ПШТ на електронні ваги і фіксували втрату маси бензену через шар ПШТ через 20 хвилин. Для цього сітку з піною знімали з металевій ємності перед кожним вимірюванням. Після чого розраховували масову швидкість випаровування бензену, яка складала $0,23 \cdot 10^{-2} (\text{г/с} \cdot \text{м}^2)$ для ПШТ без КМЦ і $0,1 \cdot 10^{-2} (\text{г/с} \cdot \text{м}^2)$ з додаванням 0,5% КМЦ.

Порівняння масових швидкостей випаровування бензену з вільної поверхні і ізолюваною шаром ПШТ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ (9%) + NaHCO_3 (9%) + ПУ(6%) + КМЦ(0,5%) висотою 5 см показало, що піна уповільнює випаровування бензену в 9 разів. Для ПШТ без додавання КМЦ уповільнювання випаровування складало 5 разів. Також були проведені дослідження для ПШТ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ (9%) + NaHCO_3 (9%) + ПУ(6%) + КМЦ(0,5%) висотою 5 см після 5 діб її витримки в приміщенні при $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ і для ПШТ такого ж складу, але без додавання КМЦ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ (9%) + NaHCO_3 (9%) + ПУ(6%). Відповідні результати представлені на рис. 1.

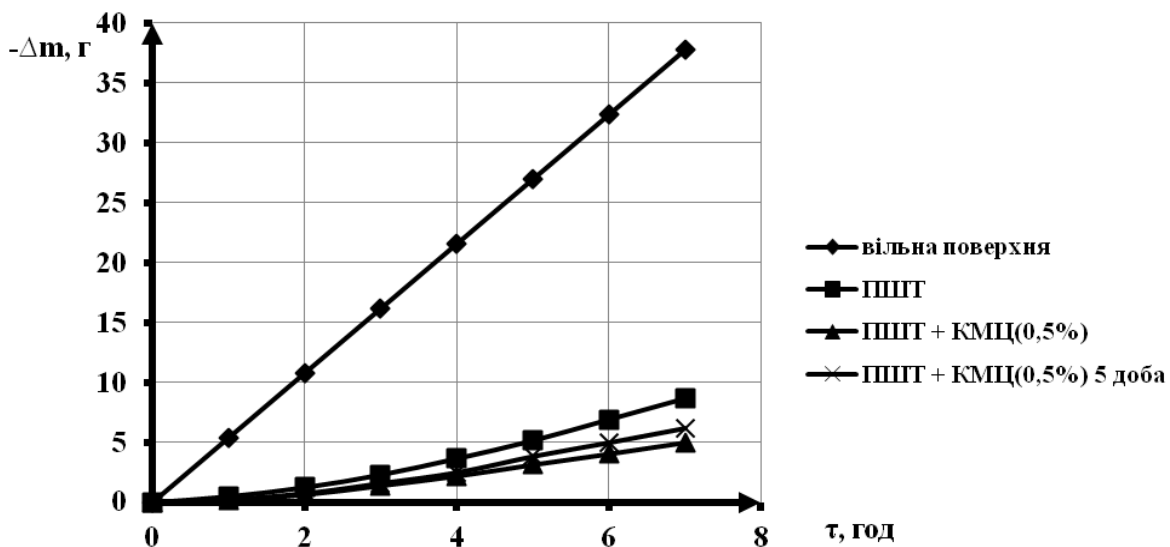


Рис. 1. Залежність інтенсивності випаровування бензену від складу піни швидкого тверднення з додаванням 0,5% КМЦ при товщині шару піни 5 см

Ще одним способом дослідження ізолюючих властивостей ПШТ є вимірювання концентрації парів токсичної рідини над її поверхнею покритою шаром ПШТ. Для проведення досліду було використано портативний багатоканальний

газоаналізатор Dräger X-am 7000. Прилад призначений для контролю за вмістом кисню, токсичних і горючих газів і парів в навколишньому середовищі. Діапазон вимірювання приладу складає від 0 до 9999 мг/м³.

Процес вимірювання проводився в декілька етапів. Спочатку в металеву ємність об'ємом 500 мл наливали бензен, так щоб відстань до країв ємності складала менше 0,5 см. Далі ємність з бензеном ставили у вимкнену витяжну шафу та закривали шафу до досягнення стаціонарного режиму. Завдяки тому, що конструкція приладу дозволяє проводити вимірювання дистанційно за допомогою подовжувальної гумової трубки, прилад знаходився поза межами шафи а трубка була приєднана до штативу на висоті 2 см від поверхні бензену.

Далі вмикали прилад та фіксували його показання протягом 20 с. Дослід проводили 3 рази та визначали середні значення.

Потім на поверхню бензену подавали ПШТ висотою 5 см, трубку приєднували на висоті 2 см над поверхнею піни. Після встановлення стаціонарного режиму повторювали вимірювання. Дослід також проводили 3 рази та визначали середні значення. Ілюстрація процесу вимірювання представлена на рис. 2.

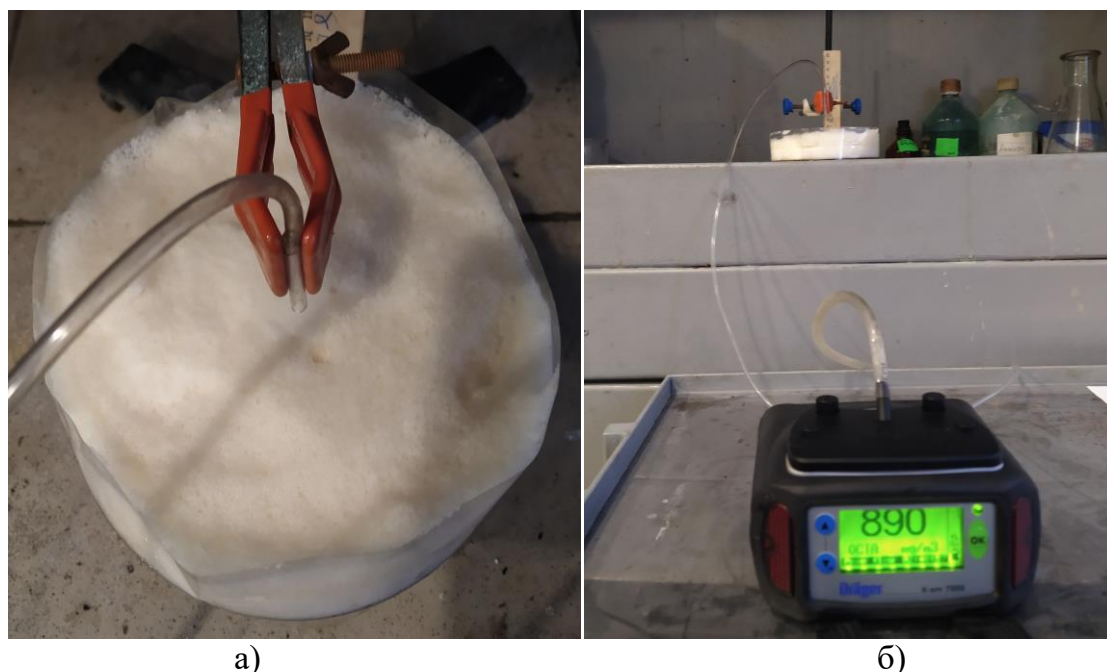


Рис. 2. Процес вимірювання концентрації парів бензену через шар ПШТ 5 см за допомогою приладу Dräger X-am 7000. а) вид установки зверху; б) робота приладу

Відношення концентрацій бензену над вільною поверхнею і поверхнею бензину покритою піною відрізнялись в 5 разів.

Дослід також проводили фіксуючи забірну трубку на інших відстанях від поверхні ПШТ, але так як молярна маса бензену більша ніж у повітря його пари стікали з поверхні ПШТ та розповсюджувалися в нижній площині навколишнього простору що впливало на коректність отриманих результатів.

7. Обговорення результатів дослідження піни швидкого тверднення

Показано, що основним методом ліквідації надзвичайних ситуацій, викликаних розливом токсичних рідин, є використання ізолюючих шарів повітряно-механічних піни. Однак вони мають суттєві недоліки, основними з яких є низькі стійкість і ізолюючі властивості. Для ізоляції поверхні токсичних рідин запропоновано використовувати легкий матеріал на основі ПШТ. Отримання ПШТ забезпечує

печувало поєднання процесів геле і піноутворення. В якості гелеутворювача був використаний розчин рідкого скла. Для збільшення стійкості ПШТ було запропоновано вводити до їх складу важколетючі гігроскопічні рідини (гліцерин) або водорозчинні полімери (карбоксиметилцелюлоза, полівініловий спирт). Найкращі характеристики показала, ПШТ складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ (9%) + NaHCO_3 (9%) + ПУ(6%) + КМЦ(0,5%). Через 24 години така піна занурюється в шар бензену на 65% своєї висоти, що відповідає плавучості 35%. Час виходу бензену на поверхню піни не менше 48 годин. За малої товщини шару бензену піна через деякий час приходить в зіткнення з твердим дном і надалі зберігає свою цілісність до 5 діб. При товщині шару піни 5 см масова швидкість випаровування бензену зменшується більш, ніж в 9 разів, а концентрація парів бензену на відстані 2 см від поверхні піни зменшується в 5 разів. Така піна зберігає ізолюючі властивості більш, ніж 5 діб. Зроблено висновок про доцільність застосування ПШТ для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій з розливом токсичних рідин.

8. Висновки

1. На підставі наведених даних можна зробити висновок, що на поверхні бензену піна поступово притоплюється. Це відбувається через поступове заповнення токсичною рідиною пінних осередків в нижній частині твердої піни. При цьому сам гелевий каркас зберігає свою цілісність, а пінні плівки утворені рідиною втрачають суцільність. З досліджених ПШТ на поверхні рідкого бензену найбільш стійкою є піна на основі системи $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,5\text{SiO}_2$ (9%) + NaHCO_3 (9%) + ПУ(6%) + КМЦ(0,5%). Така піна зберігає плавучість на поверхні бензену більше ніж 2 доби поступово втрачаючи свою ізолюючу здатність. Враховуючи те, що більшість аварій з виливом НХР у навколишнє середовище трапляється на вбираючу підстилаючу поверхню (грунт, пісок та ін.) така характеристика ПШТ як плавучість не є суттєвою у розрахунках ізолюючих та стійкісних характеристик ПШТ. Таким чином необхідним є проведення досліджень ізолюючих та стійкісних характеристик ПШТ в умовах виливу на вбираючу підстилаючу поверхню.

2. Результати вимірювань дозволяють констатувати, що додавання КМЦ значною мірою підвищує ізолюючі властивості ПШТ. Було розраховано масову швидкість випаровування бензену з вільної поверхні та через шар ПШТ. Так при додаванні 0,5% КМЦ в піноутворюючу систему масова швидкість випаровування бензену при товщині шару ПШТ 5 см зменшилась в 9 разів по порівнянню з випаровуванням з вільної поверхні і в 2 рази менше ніж при випаровуванні через шар ПШТ без КМЦ. Результати вимірювання портативним багатоканальним газоаналізатором Dräger X-am 7000 показали, що концентрація парів бензену становить 2500 мг/м^3 на висоті 2 см над вільною поверхнею бензену та 540 мг/м^3 на висоті 2 см над шаром ПШТ 5 см нанесеної безпосередньо на бензен. Отримані результати свідчать про те що піна товщиною 5 см уповільнює випаровування бензену в 9 разів та зменшує концентрацію парів бензену над поверхнею ПШТ в 5 разів. Враховуючи попередні дослідження плавучості та стійкості ПШТ, можна стверджувати що така піна зберігає ізолюючі властивості більше ніж 5 діб без необхідності повторного нанесення на поверхню НХР. Доцільно використовувати ПШТ на основі гелеутворюючої системи $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ (9 % р-н) + NaHCO_3 (9 % р-н) + КМЦ (0,5% об.) + піноутворювач «Морський» (6% об.) для ліквідування наслідків надзвичайних ситуацій пов'язаних з розливом токсичних рідин.

Література

1. Jiang-hua Z., GabLai-jun Z. Risk Analysis of Dangerous Chemicals Transportation // Systems Engineering – Theory & Practice. 2007. V. 27. P. 117–122. doi: 10.1016/S1874-8651(08)60077-0
2. Peter I., Donald M. The evaporation of volatile liquids // Journal of Hazardous Materials. 1987. V. 15. P. 343–364. doi: 10.1016/0304-3894(87)85034-3
3. Fire extinguishing media – Foam concentrates – Part 3: Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids / European standard. 2018. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:7203:-3:ed-2:v1:en> (дата звернення: 25.01.2021).
4. Kuprin G. N., Kuprin D. S. Fast-Hardening Foam: Fire and Explosion Prevention at Facilities with Hazardous Chemicals // Journal of Materials Science Research. 2017. V. 4. P. 56–61. doi: 10.5539/jmsr.v6n4p56
5. Jörg R., Laganapan A., Janne-Mieke M., Matthias F., Andreas Z. Observation of liquid glass in suspensions of ellipsoidal colloids. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, PNAS. 2021. V. 118. doi: 10.1073/pnas.2018072118
6. Chernukha A., Teslenko A., Kovaliov P., Bezuglov O. Mathematical Modeling of Fire-Proof Efficiency of Coatings Based on Silicate Composition // Materials Science Forum. 2020. V. 1006. P. 70–75. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1006.70
7. Pietukhov R., Kireev A., Slepuzhnikov E., Chyrkina M., Savchenko A. Lifetime research of rapid-hardening foams // Problems of emergency situations. 2020. V. 31. P. 226–233. doi: 10.5281/zenodo.3901986
8. Hazard Classification Guidance for Manufacturers, Importers, and Employers : Occupational Safety and Health Administration U.S. Department of Labor, OSHA 3844-02. 2016. P. 406–419. URL: <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA3844.pdf>. (дата звернення: 20.01.2021).
9. Maryam K., Naimi-Jamal M. Carboxymethyl cellulose as a green and biodegradable catalyst for the solvent-free synthesis of benzimidazoloquinazolinone derivatives // Journal of Saudi Chemical Society. 2019. V. 23. P. 182–187. doi: 10.1016/j.jscs.2018.06.007
10. Петухов Р. А., Кіреєв О. О., Слєпужніков Є. Д., Савченко О. В., Шевченко С. М., Дейнека В. В. Підвищення часу існування пін швидкого тверднення // Проблеми надзвичайних ситуацій. 2020. V. 32. С. 215–222. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4400204>

R. Pietukhov, Adjunct

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

E. Slepuzhnikov, PhD, Lecturer of the Department

A. Savchenko, PhD, Senior Researcher, Deputy Head of Department

M. Chyrkina, DSc, Associate Professor, Associate Professor of the Department
National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

RESEARCH OF THE INSULATING PROPERTIES OF THE RAPID-HARDENING FOAM

In the work it is offered to use rapid-hardenind foam received on the basis of gel-forming system $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ (9 % р-н) + NaHCO_3 (9 % р-н) as an effective insulating agent against vapors of organic toxic liquids. Benzene was selected as the tested toxic liquid. A study of the buoyancy of rapid-hardenind foam on the surface of benzene. The process of flooding of rapid-hardenind foam has been studied. It was found that rapid-hardenind foam retains its integrity and buoyancy for more than 2 days without repeated application to the surface of benzene. The insulating characteristics of rapid-hardenind foam were studied by two methods. The first is a method of fixing the weight loss of benzene. The second is a method of measuring the concentration of benzene vapor above its surface using a portable multi-channel gas analyz-

er Dräger X-am 7000 (Germany). To increase the stability and insulating properties of rapid-hardenind foam, it is proposed to add a water-soluble polymer sodium salt of carbomethylcellulose to the gel-forming system. It is established that the system has the highest stability and the greatest insulating properties $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ (9 % solution) + NaHCO_3 (9 % solution) + carbomethylcellulose (0,5% vol.) + foaming agent «Morskoy» (6% vol.). The proposed insulating agent is similar in insulating properties to the previously proposed insulating materials based on silicates, but has the advantage over them in greater ease of application to the liquid layer. The results show that the foam with a thickness of 5 cm slows down the evaporation of benzene by 9 times and reduces the concentration of benzene vapor above the surface of the rapid-hardenind foam at a height of 2 cm by 5 times. It is concluded that it is expedient to use this rapid-hardenind foam to eliminate the consequences of emergencies related to the spillage of toxic liquids.

Keywords: rapid-hardening foam, carboxymethylcellulose, gelation, insulating properties, toxic agent, benzene, flotation

References

1. Jiang-hua, Z., GabLai-jun, Z. (2007). Risk Analysis of Dangerous Chemicals Transportation. *Systems Engineering – Theory & Practice*, 27, 117–122. doi: 10.1016/S1874-8651(08)60077-0
2. Peter, I., Donald, M. (1987). The evaporation of volatile liquids. *Journal of Hazardous Materials*, 15, 343–364. doi: 10.1016/0304-3894(87)85034-3
3. Fire extinguishing media – Foam concentrates – Part 3: Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids. European standard (2018). Retrieved from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:7203:-3:ed-2:v1:en>
4. Kuprin, G. N., Kuprin, D. S. (2017). Fast-Hardening Foam: Fire and Explosion Prevention at Facilities with Hazardous Chemicals. *Journal of Materials Science Research*, 6, 56–61. doi: 10.5539/jmsr.v6n4p56.
5. Jörg, R., Laganapan, A., Janne-Mieke, M., Matthias, F., Andreas, Z. (2021). Observation of liquid glass in suspensions of ellipsoidal colloids. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, PNAS, 118. doi: 10.1073/pnas.2018072118
6. Chernukha, A., Teslenko, A., Kovaliov, P., Bezuglov, O. (2020). Mathematical Modeling of Fire-Proof Efficiency of Coatings Based on Silicate Composition. *Materials Science Forum*, 1006, 70–75. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1006.70
7. Pietukhov, R., Kireev, A., Slepuzhnikov, E., Chyrkina, M., Savchenko, A. (2020). Lifetime research of rapid-hardening foams. *Problems of emergency situations*, 31, 226–233. doi: 10.5281/zenodo.3901986
8. Hazard Classification Guidance for Manufacturers, Importers, and Employers. Occupational Safety and Health Administration U.S. Department of Labor. (2016). OSHA 3844-02, 406–419. Retrieved from <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA3844.pdf>
9. Maryam, K., Naimi-Jamal, M. (2019). Carboxymethyl cellulose as a green and biodegradable catalyst for the solvent-free synthesis of benzimidazoloquinazolinone derivatives. *Journal of Saudi Chemical Society*, 23, 182–187. doi: 10.1016/j.jscs.2018.06.007
10. Pietukhov, R. A., Kiryeyev, O. O., Slepuzhnikov, Ye. D., Savchenko, O. V., Shevchenko, S. M., Deyneka, V. V. (2020). Pidvyshchennya chasu isnuvannya pin shvydkoho tverdinnya. *Problemy nadzvychnykh sytuatsiy*, 32, 215–222. doi: 10.5281/zenodo.4400204

Надійшла до редколегії: 10.03.2021

Прийнята до друку: 14.04.2021