

## УДК 614.84

*І. Б. Бабашов<sup>1</sup>, проректор (ORCID 0000-0002-3294-1767)*

*І. Ф. Дадашов<sup>1</sup>, д.т.н., нач. фак. (ORCID 0000-0002-1533-1094)*

*О. О. Кіреєв<sup>2</sup>, д.т.н., професор (ORCID 0000-0002-8819-3999)*

*О. В. Савченко<sup>2</sup>, к.т.н., с.н.с., заст. нач. каф. (ORCID 0000-0002-1305-7415)*

*М. Є. Мусаєв<sup>3</sup>, аспірант (ORCID 0000-0002-8553-2617)*

<sup>1</sup> *Академія Міністерства з надзвичайних ситуацій Азербайджанської Республіки, Баку, Азербайджан*

<sup>2</sup> *Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

<sup>3</sup> *Азербайджанський університет архітектури та будівництва, Баку, Азербайджан*

## ПІДВИЩЕННЯ ІЗОЛЮЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДВОХШАРОВОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ СИПКИХ ЛЕГКИХ МАТЕРІАЛІВ

Продовжено експериментальні дослідження раніше запропонованого методу гасіння полярних рідин за допомогою вогнегасних засобів на основі легких сипких пористих матеріалів. Показано, що важливішою складовою вогнегасної дії таких засобів є їх ізолюючі властивості. Для зменшення швидкості випаровування легкозаймистих полярних рідин запропоновано використовувати бінарні шари легких сипких пористих матеріалів. Нижній шар забезпечує високу плавучість всієї вогнегасної системи, а верхній шар має підвищені ізолюючі властивості. В якості матеріалу нижнього шару, що забезпечує плавучість, обрано подрібнене піноскло. В якості матеріалів верхнього шару обрано спучені перліт і вермікуліт, а також подрібнене піноскло з розмірами гранул 0,5–1 см і 1–1,5 см і гранульовані цеоліти і силікагель. В якості широко розповсюдженої полярної рідини обрано етанол. Розроблено експериментальну методику визначення ізолюючих властивостей двохшарової вогнегасної системи на основі сипких легких матеріалів, яка дозволяє одночасно визначити адсорбцію парів етанолу. На основі проведених гравіметричних вимірювань встановлено, що в найбільшій ступені ізолюючі властивості підвищують подрібнене піноскло з розміром гранул 0,5–1 см, спучений перліт і вермікуліт з розміром пластинок 0,2–0,5 см. Зроблено висновок, що для подальшого вивчення вогнегасних властивостей двохшарової вогнегасної системи, призначеної для гасіння легкозаймистих полярних рідин в якості матеріалу, що забезпечує плавучість, доцільно обрати піноскло з розміром гранул (1,0–1,5) см. В якості матеріалу верхнього шару доцільно випробувати, подрібнене піноскло з розміром гранул 0,5–1 см, спучений перліт, а також спучений вермікуліт з розміром пластинок 0,2–0,5 см. Також для подальших досліджень вогнегасних характеристик запропонованих систем, доцільно нанести на обрані легкі сипкі матеріали тонкий шар інгібіторів процесу горіння.

**Ключові слова:** гасіння полярних легкозаймистих рідин, етанол, сипкі матеріали, ізолюючі властивості

### 1. Вступ

Найбільш складними об'єктами для гасіння горючих рідин є пожежі резервуарів з легкозаймистими полярними рідинами (ЛПР). Більшість полярних рідин добре розчиняються у воді, що призведе до руйнування основного засобу їх гасіння – повітряно-механічних пін (ПМП) загального призначення. У нормативних документах більшості країн вогнегасні піни вказуються як основний засіб гасіння горючих і легкозаймистих рідин (ЛЗР) [1–4]. Але гасіння ЛПР потребує використання спеціально розроблених пін на основі спиртостійких піноутворювачів (ПУ) маркування «AR» («alcoholresistant») або «ATC» («alcoholtypeconcentrate»). Такі ПУ містять у своєму складі водорозчинні полімери. При контакті з ЛПР піни, отримані зі спиртостійких ПУ, утворюють на їх поверхні суцільний шар полімерної плівки. Плівка, що утворилася, виявляє ізолюючі властивості по відношенню до пари ЛПР. Тому такі ПУ називають плівкоутворюючими. У зв'язку з тим, що плівка має густину більшу, ніж більшість ЛПР вона поступово занурюється у рідину.

Піни, одержані зі спиртостійких ПУ, мають більшість недоліків характерних

для звичайних повітряно-механічних пін. Основним з цих недоліків є низька стійкість піни. Крім того, відмічається, що такі піни мають низькі екологічні та економічні характеристики [5–6]. Також, відзначаються великі витрати пін, одержаних зі спиртостійких ПУ на гасіння багатьох ЛПР [7].

Таким чином, можна зробити висновок про наявність суттєвих недоліків у існуючих засобах пожежогасіння ЛПР. Актуальною проблемою є розробка більш ефективних засобів гасіння полярних рідин.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Розрізняють чотири основні механізми припинення горіння рідин: охолодження зони горіння або поверхні рідини, розведення пари рідини в зоні горіння, ізоляція поверхні рідини від зони горіння, інгібування хімічної реакції окиснення в зоні горіння. У зв'язку з можливістю розчинення води в ЛПР існує ще один різновид механізму розведення – розведення самої рідини водою. Це призведе не тільки до зменшення температури рідини, що горить, а і до зниження тиску парів ЛПР за рахунок зменшення їх концентрації у рідкій фазі. Зв'язок тиску насиченої пари горючої рідини з її концентрацією в рідкій фазі описується рівнянням Рауля. Для випадку, що розглядається, це рівняння можна записати таким чином [8]:

$$P_1 = P_1^0 \cdot N_1, \quad (1)$$

де  $P_1$  – тиск насиченої пари над розчином ЛПР,  $P_1^0$  – тиск насиченої пари над чистою ЛПР,  $N_1$  – мольна частка ЛПР в розчині.

Гасіння рідин шляхом її розведення на практиці реалізується для водорозчинних рідин. Так гасіння етилового спирту можна досягти розведенням його водою. Аналіз рівняння (1) показує, що для зниження тиску пари ЛПР в два рази треба знизити його мольну частку до 0,5. Перерахунок на маси рідин вказує, що для зниження тиску пари етанолу в два рази треба на 1 кг етанолу подати близько 400 г води. Вода як вогнегасна речовина має високі економічні та екологічні параметри. Але спосіб гасіння шляхом розведення ЛПР має також суттєві недоліки. В разі повного заповнення резервуара з ЛПР подавання великої кількості води може призвести до його переповнення. Крім того суттєве розведення ЛПР водою призведе до псування товарного продукту, що призведе до погіршення економічних параметрів всього процесу гасіння рідини.

В роботах [9–11] як альтернативу використанню ПМП та води для гасіння ЛПР було запропоновано використовувати вогнегасні системи на основі легких сипких матеріалів. В якості сипкого матеріалу було обґрунтовано використання подрібненого піноскла (ППС). Показано, що ППС у порівнянні з пінними засобами гасіння ЛПР має суттєву перевагу за параметром стійкості. Але за ізолюючими властивостями ППС поступається ПМП. У роботі [12] було встановлено, що деякі сипкі матеріали мають більш високі ізолюючі властивості по відношенню до пари бензину в порівнянні з ППС. На підставі цього було запропоновано для гасіння рідин вуглеводневої природи використовувати бінарні шари ППС + пористий матеріал з підвищеними ізолюючими властивостями. В якості сипких матеріалів з більшим, ніж у ПС ізолюючими властивостями, були обрані спучені перліт і вермікуліт. Недоліком таких систем є відсутність інгібуючих і адсорбуючих властивостей компонентів по відношенню до неполярних вуглеводневих рідин. В разі гасіння полярних рідин перліт та вермікуліт здатні, як полярні речовини, виявляти

адсорбуючи, а можливо та інгібуючи властивості. Процес адсорбції здатний гальмувати потрапляння пари в зону горіння, що призведе до підвищення ізолюючих властивостей. Все це дає підстави стверджувати, що доцільним є проведення дослідження, присвяченого ізолюючим властивостям бінарних вогнегасних систем на основі сипких матеріалів по відношенню до парів полярних рідин.

При виборі конкретних сипких матеріалів для вогнегасної системи призначеної для гасіння ЛПР було прийнято до уваги результати роботи [10]. В цій роботі було проведено дослідження ряду характеристик сипких матеріалів для двошарової вогнегасної системи з комбінованою вогнегасною дією. На основі цих результатів для подальшого вивчення ізолюючих та вогнегасних властивостей двошарової вогнегасної системи, призначеної для гасіння ЛПР в якості матеріалу, що забезпечує плавучість обрано ППС з розміром гранул (10–15) мм. Для верхнього шару, обґрунтовано доцільність подальших досліджень цеолітів, силікагелю, ППС з розміром гранул (5–10) мм, спученого перліту та два різновиди спученого вермікуліту. Також запропоновано використання інгібіторів процесу горіння у вигляді покриття на легкому пористому носії.

Таким чином, можна зробити висновок про необхідність продовження розробки ефективного вогнегасного засобу для гасіння полярних рідин на основі сипких пористих матеріалів. Невирішеною частиною проблеми розробки такого засобу є відсутність даних щодо ізолюючих властивостей двошарової системи на основі перерахованих вище сипких легких матеріалів.

### **3. Мета та завдання дослідження**

Метою дослідження є встановлення ізолюючих властивостей двошарової вогнегасної системи на основі сипких легких матеріалів, які виявляють адсорбуючі та інгібуючі властивості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Розробити експериментальну методику визначення ізолюючих властивостей двошарової вогнегасної системи на основі сипких легких матеріалів, яка дозволяє одночасно визначити адсорбцію парів етанолу.
2. Експериментально визначити масову швидкість випарування полярної рідини крізь бінарний шар вогнегасної системи на основі сипких легких матеріалів та адсорбцію парів такими матеріалами.
3. Обрати системи на основі сипких легких матеріалів для подальшого вивчення їх вогнегасних властивостей при гасінні легкозаймистих полярних рідин.

### **4. Результати дослідження ізолюючих характеристик бінарних шарів вогнегасної системи**

#### **4.1. Розробка експериментальної методики**

До полярних рідин відносяться ряд одноатомних спиртів (метанол, етанол, пропанол, бутанол); кетони (ацетон, метилетилкетон), початкові члени гомологічних рядів альдегідів, простих та складних ефірів, а також ряд карбонових кислот, амінів та нітросполук. Найбільші труднощі викликає гасіння ЛПР. З цих рідин найбільш поширеною є етанол (етиловий спирт) – раціональна формула  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH}$ . Великі кількості етанолу використовуються у хімічній промисловості. Він застосовується як розчинник, а також у виробництві товарів побутової хімії, у медицині та харчовій промисловості. Багато етанолу використовують у виробництві алкогольних напоїв. Етанол та його суміші використовуються як па-

ливо та як компонент палива (бензаетанол). В цієї роботі використовувався спирт ректифікат, що містить 4,4 % води.

Раніш було розроблено методики визначення ізолюючих властивостей шарів ППС та бінарних шарів ППС + інший сипкий матеріал по відношенню до неполярних рідин [11–12]. У зв'язку з тим, що більшість обраних сипких матеріалів [9] мають розвинену гідрофільну поверхню вони можуть адсорбувати пари полярних рідин. Це в свою чергу може змінити ізолюючі властивості шарів легких сипких матеріалів. Для врахування внеску адсорбції в ізолюючі властивості доцільно модифікувати раніш розроблені методики [11–12]. При цьому треба прийняти до уваги, що ППС має невелику питому поверхню і відповідно малі адсорбційні властивості. Суттєвий внесок адсорбції можна очікувати для цеолітів, силікагелю, спученого перліту та вермікуліту.

Для забезпечення можливості визначення маси адсорбованого етанолу на поверхню базового шару існуючу методику доповнили встановленням тонкої металеві сітки на яку засипався, заздалегідь зважений шар сипкого матеріалу з адсорбуючими властивостями (цеоліти, силікагель, спучені перліт та вермікуліт). Після закінчення експерименту сітка з засипаним матеріалом знову зважувалась. За результатами двох зважувань визначалась маса адсорбованого етанолу.

#### **4.2. Експериментальне дослідження ізолюючих характеристик бінарних шарів вогнегасної системи**

На початку було досліджено випарування етанолу з вільної поверхні. Для цього у тонкостінній металевій циліндричній ємності з внутрішнім діаметром 11,2 см ( $S=98,5 \text{ см}^2$ ) було залито 110 мл етанолу. При цьому висота вільного борту над шаром рідини скла 10 см, а товщина її шару  $\sim 1,1$  см. Через 10 хвилин почалась фіксація маси етанолу, яка продовжувалась протягом 60 хвилин з інтервалом 10 хвилин.

Надали шляхом насипання одинарного або бінарного шару сипких легких матеріалів формувалась ізолюючий шар. Нижня частина шару складала 4 см ППС (базовий шар). При цьому ППС осідало на дно металеві ємності, що забезпечувало відсутність його подальшого занурення під дією верхніх шарів сипких матеріалів. Рівень етанолу над дном ємності піднімався до  $\sim 2$  см, а висота шару ППС вище рівня рідини складала  $h_{\uparrow}=2$  см. Далі на поверхню базового шару встановлювалась тонка металева сітка на яку засипався, заздалегідь зважений шар сипкого матеріалу з адсорбуючими властивостями (цеоліти, силікагель, спучені перліт та вермікуліт). У разі матеріалів з низькими адсорбуючими властивостями сітка не встановлювалась і адсорбція пари етанолу не визначалась.

Після формування базового шару з інтервалом 1 см насипались верхні шари сипких матеріалів. Через 10 хвилин після насипання верхнього шару легких сипких матеріалів починалось вимірювання маси, яке продовжувалось протягом 60 хвилин з інтервалом 10 хвилин. Далі вимірювалась втрата маси етанолу і проводилися розрахунки масової швидкості випарування. За алгоритмом для одношарового покриття.

Для визначення маси були використані електронні ваги безперервного зважування ТНВ-600, що забезпечують точність вимірювання  $\pm 0,01$  г. Всі вимірювання було проведено за температур в інтервалі (17–20)°C.

На основі розробленої експериментальної методики визначалась маса етанолу, що випарувалась. Це дозволило визначити масову швидкість випарування

етанолу крізь шар сипких матеріалів за співвідношенням:

$$V = \frac{\Delta m}{\tau \cdot S}, \quad (2)$$

де  $\Delta m$  – зміна маси етанолу;  $\tau$  – час випаровування етанолу;  $S$  – площа поверхні рідини.

Кожен дослід проводився 3 рази на основі чого розраховувалось середнє значення відповідної характеристики.

У разі використання в якості легких сипких матеріалів адсорбуючих речовин також розраховувалась маса етанолу, яку вони поглинули. Для цього металева сітка з верхнім шаром сипкого матеріалу вилучалась і зважувалась. Така процедура дозволяла визначити масу етанолу, що поглинуто верхнім шаром сипучого матеріалу. Кількісно адсорбційні властивості матеріалу визначались як відношення маси поглиненого етанолу ( $m_e$ ) до маси адсорбенту ( $m_a$ ):

$$A = \frac{m_e}{m_a}. \quad (3)$$

Для зручності порівняння впливу верхнього шару на ізолюючі властивості для різних рідин було введено коефіцієнт уповільнення випарування ( $K$ ) [11]:

$$K = \frac{v_0}{v_1}, \quad (4)$$

де  $v_0$  – масова швидкість випарування з вільної поверхні,  $v_1$  – масова швидкість випарування крізь ізолюючий шар.

На рис. 1 наведено графічні залежності втрати маси етанолу з часом для різної товщини шарів ППС з розміром гранул 1–1,5 см.

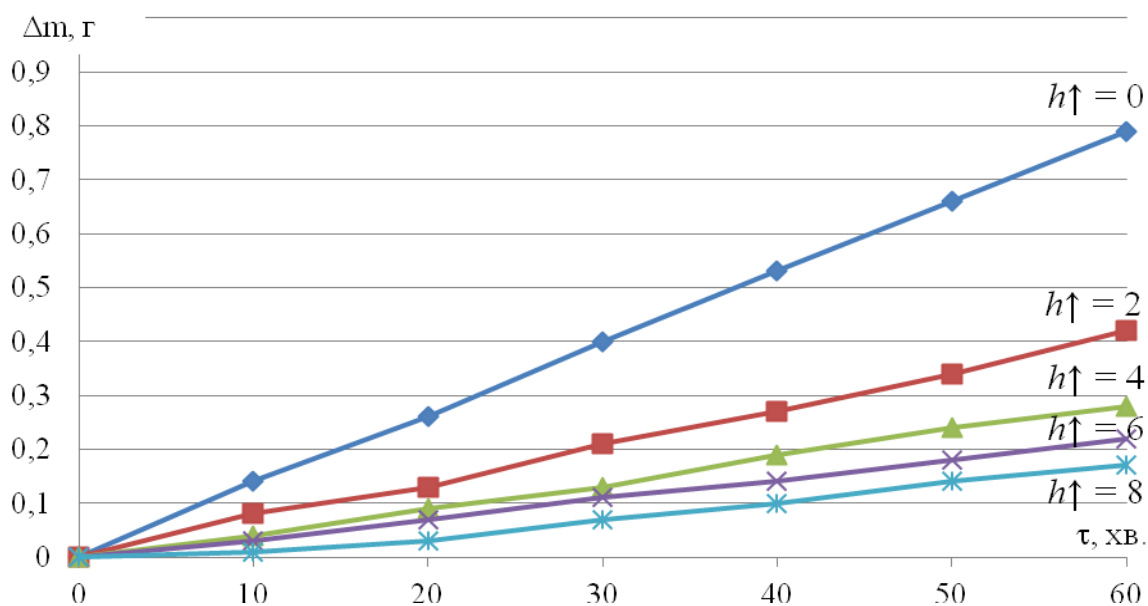


Рис. 1. Залежність втрати маси етанолу для різної товщини ізолюючого шару ППС ( $h \uparrow$ ) з розміром гранул (1–1,5) см

На рис. 2 наведено залежності масової швидкості випаровування етанолу для моношарів ППС різної товщини з різним розміром гранул.

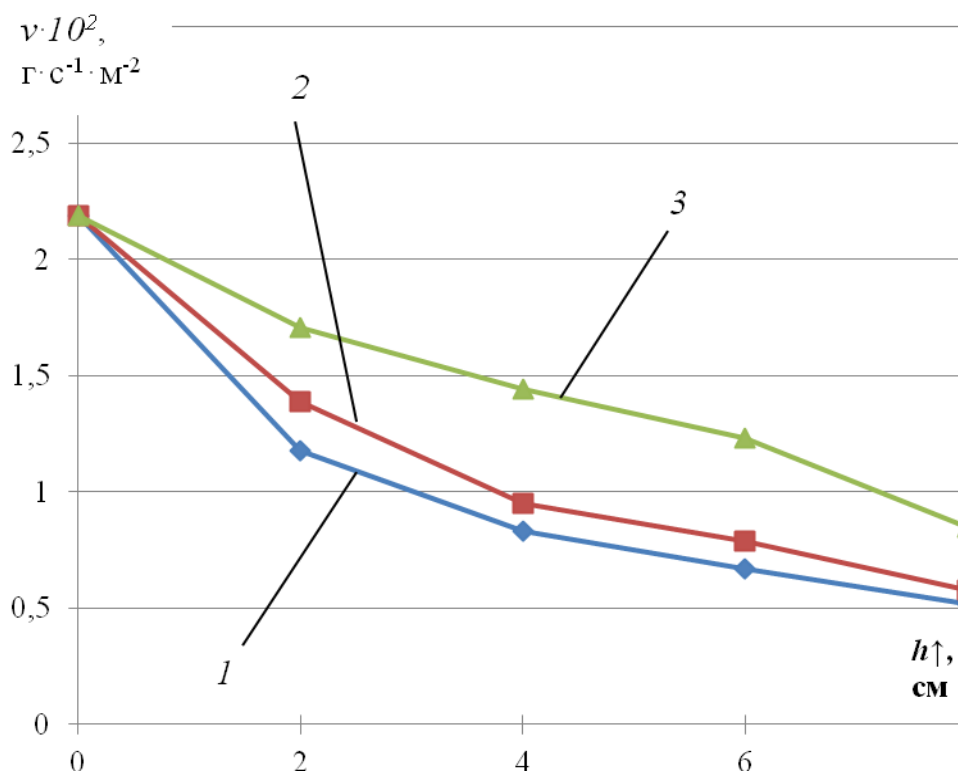


Рис. 2. Залежність масової швидкості випаровування етанолу ( $v$ ) для моношарів ППС різної товщини ( $h \uparrow$ ) з різним розміром гранул( $l$ ) 1.  $l=(1-1,5)$  см 2.  $l=(1,5-2,5)$  см 3.  $l=(2,5-3,5)$  см

Масова швидкість випаровування етанолу для моношарів ППС різної товщини з різним розміром гранул, показує що найбільші ізолюючі властивості має ППС з розміром гранул (1–1,5) см.

#### 4.3. Результати дослідження характеристик систем на основі сипких легких матеріалів

В табл. 1 наведено масові швидкості випаровування етанолу крізь бінарні шари легких сипких матеріалів, вибір яких було обґрунтовано в роботі [9]. У всіх випадках на базовий шар товщиною  $h=h_{\downarrow}+h_{\uparrow}=2+2=4$  см з розміром гранул (1–1,5) см, наносились шари інших сипких матеріалів з дискретністю 1 см. В якості матеріалів верхнього шару використано ППС з розміром гранул (0,5–1) см; спучений перліт з гранулами сферичної форми, діаметром (1,0–1,5) мм; спучений вермикуліт пластинчастої форми з лінійними розмірами пластинок  $1 \times 2$  мм та  $2 \times 5$  мм, а також силікагель (1–2,5) мм та гранульовані цеоліти (3–6) мм. Також було проведено дослідження ізолюючих властивостей ППС з розміром гранул (0,5–1) мм з покриттям із інгібіторів горіння NaCl, NaHCO<sub>3</sub> і NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. Для покриття верхнього шару інгібіторами горіння здійснювалось змочування відповідних матеріалів насиченими розчинами солей-інгібіторів з наступним сушінням за умов постійного перемішування. Перемішування забезпечувало відсутність злипання гранул сипкого матеріалу.

За співвідношенням (2) було оцінено адсорбцію пари етанолу силікагелем, цеолітом, перлітом, і вермикулітом з розмірами гранул 1–2 мм і 2–5 мм. Вони

склали 0,9; 4,4; 0,7 і 0,5 % відповідно.

**Табл. 1. Масові швидкості випарування етанолу крізь базовий шар ППС(1–1,5) для якого  $h_1 \uparrow = 2$  см + інший сипкий матеріал товщина якого  $h_2 \uparrow$ . У всіх випадках масова швидкість випарування етанолу з вільної поверхні рідини ( $h=0$ ) складає  $2,19 \cdot 10^{-2}$  г·с<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup>**

$h \uparrow = h_1 \uparrow + h_2 \uparrow$					
3	4	5	6	7	8
$v \cdot 10^2, \text{г} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$					
Верхній шар ППС (0,5–1) см					
1,45	1,10	0,87	0,71	0,62	0,48
Верхній шар ППС (1–1,5) см					
1,47	1,16	0,93	0,75	0,63	0,51
Верхній шар ППС (0,5–1) см+NaCl,					
1,62	1,17	0,95	0,79	0,72	0,65
Верхній шар ППС (0,5–1) см+NaHCO <sub>3</sub>					
1,58	1,24	0,97	0,76	0,68	0,64
Верхній шар ППС (0,5–1) см+i NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>					
1,59	1,20	0,97	0,77	0,69	0,66
Верхній шар перліт					
1,48	1,11	0,89	0,79	0,65	0,54
Верхній шар вермикулит (1–2) см					
1,55	1,16	0,94	0,86	0,73	0,57
Верхній шар вермикулит (2–5) см					
1,43	1,08	0,83	0,68	0,60	0,48
Верхній шар силікагель					
1,57	1,28	1,06	0,88	0,77	0,64
Верхній шар цеоліти					
1,56	1,26	1,05	0,84	0,72	0,63

На основі отриманих даних було за співвідношенням (3) розраховано коефіцієнти уповільнення випарування етанолу для шарів різної товщини легких сипких матеріалів (табл. 2).

**Табл. 2. Коефіцієнти уповільнення випарування (K) етанолу та бензину для ряду легких сипких матеріалів різної товщини шару ( $h \uparrow$ )**

$h \uparrow, \text{см}$	K					
	ППС 0,5–1,0	ППС 1,0–1,5	Вермікулит 0,1–0,2	Вермікулит- 0,2–0,5	Перліт	ППС** 1,0–1,5
2	1,6*					1,3
4	2,6	2,4	2,5	2,7	2,6	1,8
6	4,1	4,3	3,4	4,3	3,7	1,9
8	6,0	5,5	5,1	6,0	5,4	2,2

\* – скрізь базовий шар ППС (розмір гранул 1,0–1,5) см,

\*\* – для бензину.

В цій таблиці також для порівняння наведено значення коефіцієнтів уповільнення випарування бензину для різної товщини шару ППС з розміром гранул 1,0–1,5 см. Останні результати отримані шляхом обробки результатів роботи [12].

## 5. Обговорення результатів дослідження швидкості випарування етанолу крізь бінарні шари

Дослідження ізолюючих властивостей бінарних шарів вогнегасної системи на основі сипких легких матеріалів призначеної для гасіння полярних легкозай-

мистих рідин призвело до таких результатів. Втрата маси етанолу з часом для різної товщини ізолюючих шарів має лінійну залежність (рис. 1). Ця закономірність встановлена раніше для вуглеводневих неполярних рідин [11–12] виконується також для полярної речовини – етанолу. Співставлення результатів для масової швидкості випарування етанолу для моношарів ППС різної товщини з різним розміром гранул, показує, що найбільші ізолюючі властивості має ППС з розміром гранул (1–1,5) см. Такий самий висновок було зроблено з результатів досліджень для неполярних рідин [11]. Аналіз даних масової швидкості випаровування етанолу крізь бінарні шари, дозволяє констатувати факт більш високої ізолюючої здатності у порівнянні з іншими матеріалами – вермикуліту з розмірами пластинок (2–5) мм і ППС з розмірами гранул (0,5–1) см і (1–1,5) см. Перевага вермикуліту в ізолюючих властивостях пояснюється пластинчатою формою матеріалу, що призведе до зменшення об'єму порожнин. Також встановлено, що нанесення тонкого шару солей-інгібіторів негативно впливає на ізолюючі властивості ППС. Це обумовлено потраплянням дрібних частинок солей між гранулами ППС що призведе до збільшення об'єму порожнин.

Порівняння масових швидкостей випаровування етанолу з вільної поверхні та крізь бінарні шари легких сипких матеріалів з відповідними характеристиками для бензину, вказує на більші масові швидкості випарування для бензину. Це пояснюється більшою летучістю бензину у порівнянні етанолом. Порівняння значення коефіцієнтів уповільнення випарування етанолу і бензину для різної товщини шару ППС з розміром гранул 1–1,5 см дозволяє зробити висновок про у 2–3 рази більші ізолюючі властивості ППС по відношенню к парам етанолу у порівнянні з парами бензину. Це можна пояснити більшою адсорбцією парів етанолу піносклом у порівнянні з парами бензину. У той же самий час, чисельні значення величин адсорбції парів етанолу для обраних адсорбентів вказують на їх невелику адсорбуючу здатність до цих парів. Підвищення адсорбції легкими сипкими матеріалами можна досягнути є вибором матеріалів з більшою питомою поверхнею.

Слід зауважити, що чисельні значення масових швидкостей випарування етанолу одержані в роботі відповідають умовам проведення експерименту та не можуть порівнюватися з результатами одержаними за іншими методиками. Це можна вважати одночасно недоліком та обмеженням проведеного дослідження.

Отримані результати дозволяють досягти мети роботи, а саме обрати компоненти двошарової вогнегасної системи на основі легких сипких матеріалів з високими ізолюючими властивостями по відношенню до парів етанолу. В якості матеріалу нижнього шару вогнегасної системи, що забезпечує плавучість, доцільно вибрати ППС з розміром гранул (10–15) мм. В якості верхнього шару доцільно випробувати, ППС з розміром гранул (5–10) мм і (10–15) мм, а також спучений вермикуліт з розміром пластинок (2–5) мм. Також для подальших досліджень вогнегасних характеристик запропонованих систем, доцільно нанести на обрані легкі сипкі матеріали тонкий шар інгібіторів процесу горіння.

## 6. Висновки

1. Розроблено експериментальну методику визначення ізолюючих властивостей двошарової вогнегасної системи на основі легких сипких матеріалів, яка дозволяє одночасно визначити адсорбцію парів етанолу. Раніше використані методики було модернізовано для врахування маси адсорбованого етанолу на поверхню базового шару (цеоліти, силікагель, спучені перліт та вермикуліт).



2. Експериментально визначено масову швидкість випаровування етанолу крізь бінарний шар вогнегасної системи на основі легких сипких матеріалів та адсорбцію парів такими матеріалами. Масова швидкість випаровування етанолу з вільної поверхні та крізь бінарні шари легких сипких матеріалів на порядок менша відповідної характеристики для бензину. Коефіцієнт уповільнення випарування етанолу зростає зі збільшенням товщини ізолюючого шару і досягає значення 6 для товщини верхнього шару 8 см. Обрані матеріали виявляють невисоку адсорбуючу здатність по відношенню до парів етанолу.

3. Обрано ряд систем на основі легких сипких матеріалів для подальшого вивчення їх вогнегасних властивостей при гасінні легкозаймистих полярних рідин. Для подальшого вивчення вогнегасних властивостей двошарової вогнегасної системи, призначеної для гасіння полярних легкозаймистих рідин в якості матеріалу, що забезпечує плавучість, доцільно обрати піноскло з розміром гранул (10–15) мм. В якості верхнього шару доцільно випробувати, подрібнене піноскло з розміром гранул (5–10) мм і (10–15) мм, а також спучений вермікуліт з розміром пластинок (2–5) мм. Також для подальших досліджень вогнегасних характеристик запропонованих систем, доцільно нанести на обрані легкі сипкі матеріали тонкий шар інгібіторів процесу горіння.

### Література

1. EN 1568-1:2018. Fire extinguishing media. Foam concentrates. Part 1: Specification for medium expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids.

2. EN 1568-2:2018. Fire extinguishing media – Foam concentrates. Part 2: Specification for medium expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids.

3. EN 1568-3:2018. Foam concentrates. Part 3: Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids /European standard.

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

5. Ivanković T. Surfactants in the environment. Arh. Hig. Rad. Toksikol. 2010. Vol. 61. № 1. P. 95–110. URL: <http://dx.doi.org/10.2478/10004-1254-61-2010-1943>

6. Olkowska E. Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges. Chem. Rev. 2011. Vol. 111. № 9. P. 5667–5700. URL: <https://doi.org/10.1021/cr100107g>

7. Extinguishing performance of alcohol-resistant firefighting foams on polar flammable liquid fires. Huiqiang Zhi, Youquan Bao, Lu Wang, Yixing Mi Journal of Fire Sciences. 2020. Vol. 38(1). P. 53–74. doi: 10.1177/0734904119893732

8. P. Atkins. Physical chemistry textbook. Oxford University Press. 2018, 1040 p. URL: [https://www.academia.edu/51098021/Atkins\\_Physical\\_Chemistry\\_11th\\_edition](https://www.academia.edu/51098021/Atkins_Physical_Chemistry_11th_edition)

9. Бабашов І. Б., Дадашов І. Ф., Кіреєв О. О., Савченко О. В. Вибір сипких матеріалів для гасіння полярних легкозаймистих рідин. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2022. Вип. 1(35). С. 311–324. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/16031>

10. Бабашов І. Б., Дадашов І. Ф., Кіреєв А. А. Пути совершенствования методов тушения полярных легковоспламеняющихся жидкостей. Proceedings of international and scientific conference on “Prospects of innovative development of

technical and natural sciences”, 25–26 November, 2021, Baku, Azerbaijan. P 24–32. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/15001>

11. Дадашов І. Ф., Кіреєв О. О., Трегубов Д. Г., Тарахно О. В. Гасіння горючих рідин твердими пористими матеріалами та гелеутворюючими системами. Харків.: ФОП Бровін. 2021, 240 с. ISBN 978-617-8009-60-1. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14033>

12. Макаренко В. С., Кіреєв О. О., Чиркіна М. А., Дадашов І. Ф. Дослідження ізолюючих властивостей шарів легких пористих матеріалів. Проблеми пожарной безопасности. 2020. Вып. 48. С. 112–118. URL: <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/zbirky-naukovykh-prats-ppb/ppb48/15.pdf>

*I. Babashov<sup>1</sup>, Vicerector*

*I. Dadashov<sup>1</sup>, DSc, Head of the Faculty*

*O. Kireev<sup>2</sup>, DSc, Professor, Professor of the Department*

*O. Savchenko<sup>2</sup>, PhD, Senior Researcher, Deputy Head Department*

*M. Musayev<sup>3</sup>, Adjunct*

<sup>1</sup>Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

<sup>2</sup>National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

<sup>3</sup>Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan

## STUDY OF THE INSULATING PROPERTIES OF THE TWO-LAYER SYSTEM BASED ON FLUID LIGHT MATERIALS

Experimental studies of the previously proposed method of extinguishing polar liquids with the help of fire extinguishing agents based on light loose porous materials have been continued. It is shown that the most important component of the fire-extinguishing action of such agents is their insulating properties. To reduce the rate of evaporation of highly flammable polar liquids, it is proposed to use binary layers of light free-flowing porous materials. The lower layer provides high buoyancy of the entire fire extinguishing system, and the upper layer has increased insulating properties. Crushed foam glass was chosen as the material of the bottom layer, which provides buoyancy. Swollen perlite and vermiculite, as well as crushed foam glass with granule sizes of 0,5–1 cm and 1–1,5 cm and granular zeolites and silica gel were chosen as the materials of the upper layer. Ethanol was chosen as a widely distributed polar liquid. An experimental technique for determining the insulating properties of a two-layer fire extinguishing system based on loose, lightweight materials has been developed, which allows simultaneous determination of the adsorption of ethanol vapors. Based on the gravimetric measurements, it was established that the insulating properties are increased to the greatest degree by crushed foam glass with a granule size of 0,5–1 cm, expanded perlite and vermiculite with a plate size of 0,2–0,5 cm. It was concluded that for further study of fire extinguishing properties of a two-layer fire extinguishing system intended for extinguishing flammable polar liquids, as a material that provides buoyancy, it is advisable to choose foam glass with a granule size of (1,0–1,5) cm. As a material of the upper layer, it is advisable to try crushed foam glass with a granule size of 0,5–1 cm, expanded perlite, as well as expanded vermiculite with a plate size of 0,2–0,5 cm. Also, for further studies of the fire-extinguishing characteristics of the proposed systems, it is advisable to apply a thin layer of combustion process inhibitors to the selected light loose materials.

**Keywords:** extinguishing polar flammable liquids, ethanol, loose materials, insulating properties

### References

1. EN 1568-1:2018. Fire extinguishing media. Foam concentrates. Part 1: Specification for medium expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids.

2. EN 1568-2:2018. Fire extinguishing media – Foam concentrates. Part 2: Specification for high expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids.

3. EN 1568-3:2018. Foam concentrates. Part 3: Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids /European standard.
4. Borovikov, V. O., Chepovskiy, V. O., Slutska, O. M. Rekomendats, I. Yi. (2009). Schodo gasInnya pozhezh u spirtoshovichah, scho mIstyat etiloviy spirt. MNS UkraYini. K.:UkrNDIPB, 76.
5. Ivanković, T. (2010). Surfactants in the environment. Arh. Hig. Rad. Toksikol, 61, 1, 95–110. <http://dx.doi.org/10.2478/10004-1254-61-2010-1943>
6. Olkowska, E. (2011). Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges. Chem. Rev, 111, 9, 5667–5700. <https://doi.org/10.1021/cr100107g>
7. Huiqiang, Zhi, Youquan, Bao, Lu, Wang, Yixing, Mi. (2020). Extinguishing performance of alcohol-resistant firefighting foams on polar flammable liquid fires. Journal of Fire Sciences, 38(1), 53–74. doi: 10.1177/0734904119893732
8. Atkins, P. (2018). Physical chemistry textbook. Oxford University Press. 1040. URL [https://www.academia.edu/51098021/Atkins\\_Physical\\_Chemistry\\_11th\\_edition](https://www.academia.edu/51098021/Atkins_Physical_Chemistry_11th_edition)
9. Babashov, I. B., Dadashov, I. F., Kirieiev, O. O., Savchenko, O. V. (2022). Vybir syvkykh materialiv dlia hasinnia poliarnykh lehkozaimystykh ridyn. Problemy nadzvychainykh sytuatsii, 1(35), 311–324. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/16031>
10. Babashov, I. B., Dadashov, I. F., Kireev, A. A. (2021). Puti sovershenstvovaniya metodov tusheniya polyarnykh legkovosplamenyayuschih sya zhidkostey. Proceedings of international and scientific conference on “Prospects of innovative development of technical and natural sciences”, Baku, Azerbaijan, 24–32. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/15001>
11. Dadashov, I. F., Kirieiev, O. O., Trehubov, D. H., Tarakhno, O. V. (2021). Hasinnia horiuchykh ridyn porystykh materialamy ta heleutvoriuiuchykh systemamy. Kharkiv.: FOP Brovin, 240. ISBN 978-617-8009-60-1. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14033>
12. Makarenko, V. S., Kirieiev, O. O., Chyrkina, M. A., Dadashov I. F. (2020). Doslidzhennia izoliuiuchykh vlastyvostei shariv lehkykh porystykh materialiv. Problemy pozharnoi bezopasnosti, 48, 112–118. URL: <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/zbirky-naukovykh-prats-ppb/ppb48/15.pdf>

Надійшла до редколегії: 17.10.2022

Прийнята до друку: 15.11.2022