

*В. С. Макаренко, ад'юнкт ад'юнктури, НУЦЗУ,  
О. О. Кіреєв, д.т.н., доцент, проф. каф., НУЦЗУ,  
М. А. Чиркіна, к.т.н., доцент, доц. каф., НУЦЗУ,  
І. Ф. Дадашов, д.т.н., зав. каф., Академія МНС  
Азербайджанской Республики*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ІЗОЛЮЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАРІВ ЛЕГКИХ ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

Для зменшення швидкості випарування легкозаймистих рідин запропоновано використовувати бінарні шари піноскло + інший гранульований матеріал. В якості таких матеріалів розглянуто перліт і вермикуліт. Наведено експериментальні дані з масових швидкостей випарування бензину крізь такі шари. Показано, що бінарні шари піноскло + інший гранульований матеріал мають більші ізолюючі властивості ніж подрібнене піноскло. Перевага в ізолюючих властивостях вермикуліту з розміром гранул 2 – 5 мм за товщиною його шару 6 см по зрівнянню з піносклом такої самої загальної товщини складає 25 %. Встановлено, що шар вермикуліту товщиною 3 см забезпечує такі самі ізолюючі властивості, як шар піноскла товщиною 6 см.

**Ключові слова:** ізолюючі властивості, масова швидкість випарування, шар гранульованих матеріалів, перліт, вермикуліт, піноскло.

**Постановка проблеми.** Статистика вказує на широку поширеність пожеж за участю горючих рідин [1, 2]. Їх гасіння в багатьох випадках викликає суттєві труднощі. Найбільш складними для гасіння є пожежі за участю легкозаймистих рідин (ЛЗР). Труднощі гасіння таких рідин багатократно збільшуються в разі горіння резервуарів з ЛЗР великих розмірів. Такі пожежі в багатьох випадках характеризуються великою тривалістю, потребою в залученні великої кількості сил і засобів пожежогасіння, суттєвими матеріальними збитками і часто людськими жертвами [3, 4].

Для гасіння горючих рідин запропоновано використовувати майже усі типи вогнегасних речовин [5, 6]. Для гасіння горючих рідин застосовують розпилену та тонкорозпилену воду, порошкові засоби, хладони та вуглекислоту. У разі води основним механізмом припинення горіння є охолодження. У разі використання вогнегасних порошоків і газоподібних інгібіторів горіння домінуючим є ефект інгібування. У випадку застосування вуглекислоти в основному реалізується охолоджуючий та розбавляючий механізми припинення горіння.

Відмічені вище засоби забезпечують позитивний результат у разі невеликих за розмірами резервуарів з горючими рідинами. При цьому необхідно створити вогнегасну концентрацію відповідних вогнегасних речовин над усією площею горючої рідини. Якщо над частиною поверх-

ні рідини не створюється вогнегасна концентрація то над цією ділянкою горіння триває, що в подальшому призведе до поширення горіння над усією поверхнею рідини.

Для забезпечення одночасного досягнення вогнегасної концентрації над усією поверхнею рідини потрібно забезпечити високу інтенсивність подавання вогнегасної речовини протягом деякого часу. Останню умову важко забезпечити в разі використання вищеперерахованих вогнегасних засобів для об'єктів великого розміру.

Частково цю проблему можна вирішити шляхом використання засобів пожежогасіння в яких реалізується ізолюючий механізм припинення горіння. Такими засобами є вогнегасні піни. Але і вони мають ряд недоліків. Серед таких недоліків пін можна відмітити їх поступове руйнування, а також низькі економічні та екологічні параметри [7, 8]. Таким чином можна констатувати, що є потреба в розробці більш ефективних засобів гасіння горючих рідин.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Серед нових засобів пожежогасіння горючих рідин можна виділити використання легких твердих пористих матеріалів низької щільності на поверхню яких наноситься шар гелю [9–11]. В якості пористого матеріалу було запропоновано використовувати подрібнене піноскло (ПС). Для утворення на поверхні ПС ізолюючого шару гелю було обрано гелеутворюючу система ГУС  $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ . Для підвищення охолоджуючих властивостей ПС було запропоновано його змочування. Результати проведених досліджень дозволили зробити такі висновки [12]:

- гасіння висококиплячих рідин можна досягти нанесенням змоченого ПС шаром від 10 до 3 см, відповідно, без додаткового нанесення шару гелю;

- гасіння легкокиплячих рідин досягається нанесенням шару сухого піноскла товщиною ~50 см без подавання компонентів гелеутворюючої системи;

- в разі використання гелеутворюючої системи з поверхневою витратою не менше  $0,2 \text{ г/м}^2$  гасіння легкокиплячих рідин досягається шляхом нанесення шару сухого піноскла товщиною 14 см;

- економічні параметри вогнегасної системи ПС + ГУС перевищують піни в 1,4–4,2 рази.

Недоліком вогнегасних систем ПС + ГУС є потреба в використанні трьох окремих вогнегасних речовин і трьох окремих засобів їх подавання. Цій висновок відноситься до випадку гасіння легкозаймистих рідин (ЛЗР). Висококиплячі важкозаймисті рідини можна загасити використовуючи тільки ПС. Таким чином є потреба в розробці засобу пожежогасіння легкозаймистих рідин без застосування ГУС.

У випадку гасіння легкозаймистих рідин основний внесок в припинення горіння вносять ізолюючі властивості вогнегасного засобу. Тому доцільно дослідити використання для гасіння ЛЗР інших твердих ле-

гких матеріалів, які забезпечать підвищення ізолюючих властивостей вогнегасного засобу.

В попередніх дослідженнях на основі моделювання процесу дифузії пари рідини крізь шар гранульованого матеріалу [13] було показано, що ізолюючі властивості такого шару збільшуються зі зменшенням об'ємної частки порожнин в ізолюючому шарі. У разі використання подрібненого ПС його гранули мають неправильну форму, що призведе до утворення в шарі ПС великого об'єму порожнин. Це в свою чергу призведе до зменшення ізолюючих властивостей шару ПС. Тому доцільно дослідити ізолюючі властивості шарів інших пористих матеріалів. В якості таких матеріалів було розглянуто негорючі неорганічні пористі матеріали, які виробляються вітчизняною промисловістю.

Вимогам критерію негорючості та низької густини відповідають такі матеріали: спучені перліт і вермикуліт, пемза, керамзит, ракушняк, порожнисті скляні мікросфери. Ракушняк і керамзит було відкинуто від подальшого розгляду по критерію високої насипної густини. Пемза має такий самий недолік як ПС, її гранули мають неправильну форму, що призведе до утворення в шарі ПС великого об'єму порожнин. Порожнисті скляні мікросфери не розглядались з економічних міркувань.

Спучені перліт і вермикуліт теж мають суттєвий недолік пов'язаний з їх малою плавучістю. Плавучість була досліджена відповідно до методики [11]. Ці дослідження показали, що частина гранул спучених перліту і вермикуліту тоне у бензині. Це означає, що їх не можна безпосередньо використовувати для утворення ізолюючих шарів. У той самий час візуальні спостереження дозволили встановити, що гранули спученого перліту і вермикуліту при звичайній засипці на тверду поверхню утворюють шар з меншою об'ємною часткою порожнин ніж шар гранул ПС. Для вирішення проблеми низької плавучості шарів спученого перліту та вермикуліту можна використати шар піноскла для забезпечення їх плавучості. Тобто ізолюючий засіб буде складатися з двох шарів: перший шар складається з гранул ПС, а другий з гранул спученого перліту та вермикуліту.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою роботи є експериментальне визначення ізолюючих властивостей засобів пожежогашіння легкозаймистих рідин, які складаються з двох шарів: нижній шар складається з подрібненого ПС, а верхній шар з гранул спученого перліту або вермикуліту.

В якості ЛЗР було обрано бензин. В якості шару який забезпечує плавучість обрано ПС з розміром гранул (10–15) мм. В якості верхнього шару було обрано спучений перліт з розміром гранул кулеподібної форми (1–1,5) мм та спучений вермикуліт у вигляді пластинок двох розмірів 1–2 мм (вермикуліт – 1) і 2–5 мм (вермикуліт – 2).

По-перше, було визначено насипну щільність, плавучість матеріалів у бензині, частку матеріалів, що потонуло в бензині.

Плавучість розраховувалась як відношення висоти шару ПС, що

перебуває над рівнем бензину, до загальної висоти шару ПС [11]:

$$\Pi = \frac{h \uparrow}{h_{заг}} = \frac{h \uparrow}{h \uparrow + h \downarrow}, \quad (1)$$

де  $h \uparrow$  – висота шару ПС над шаром рідини;  $h_{заг}$  – загальна товщина шару ПС;  $h \downarrow$  – висота шару ПС, занурена під шар рідини.

Відповідні результати наведено в табл. 1.

У подальшому була визначена швидкість випаровування бензину з вільної поверхні. Для цього у тонкостінній металевій циліндричній ємності з внутрішнім діаметром 11,2 см ( $S = 98,5 \text{ см}^2$ ) було залито 100 мл автомобільного бензину А-92. Втрати маси визначалась гравіметричним методом протягом 5°хв з інтервалом вимірювання одну хвилину. Для визначення маси були використані електронні ваги безперервного зважування ТНВ-600, що забезпечують точність вимірювання  $\pm 0,01$  г. Вимірювання проводили за температури  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ .

**Табл. 1. Характеристики гранульованих матеріалів: насипна щільність ( $\rho$ ) плавучість ( $\Pi$ ), частка гранул, що потонула (пот) і розмір гранул ( $l$ ) обраних матеріалів**

Характеристика	Матеріал			
	піноскло	перліт	вермікуліт – 1	вермікуліт – 2
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	98	165	286	190
$\Pi$	0,52	0,3	<0,1	0,4
пот, %	2	10	90	5
$l$ , мм	10-15	1-2	1-2	2-5

На наступному етапі експерименту була визначена зміна швидкості випаровування бензину за умови нарощування шару піноскла (ПС). Додавалось 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 і 10 см. Після кожної засипки ПС протягом 5 хвилин вимірювалась втрата маси бензину.

У подальшому експеримент проводився таким чином. Після заливання 100 мл бензину у тонкостінну металеву циліндричну ємність у нього наносився шар ПС товщиною 4 см і шар товщиною 1 см іншого гранульованого матеріалу (перліту, вермікуліту – 1 або вермікуліту – 2) і протягом 5 хвилин вимірювалась втрата маси бензину. В разі засипання шару ПС товщиною 4 см цей шар занурювався та осідав на дно ємності. В результаті при подальшій загрузці інших матеріалів не відбувалось додаткового занурювання шару ізолюючого матеріалу.

В подальшому додатково засипалися гранульовані матеріали з інтервалом товщини шару 1 см до досягнення верху ємності. Тобто максимальна товщина ізолюючого шару складала 10 см. З них 4 см складав шар ПС і 6 см шар іншого гранульованого матеріалу. Вимірювання втрати маси проводились протягом 5 хвилин з інтервалом 1 хв. Відпові-

дні експериментальні дані наведено у табл. 2.

**Табл. 2.** Зміна маси бензину протягом 5 хвилин внаслідок його випаровування крізь шар ПС товщиною 4 см з послідовним додаванням шарів піноскла, перліту, вермикуліту – 1 і вермикуліту – 2 товщиною  $h$

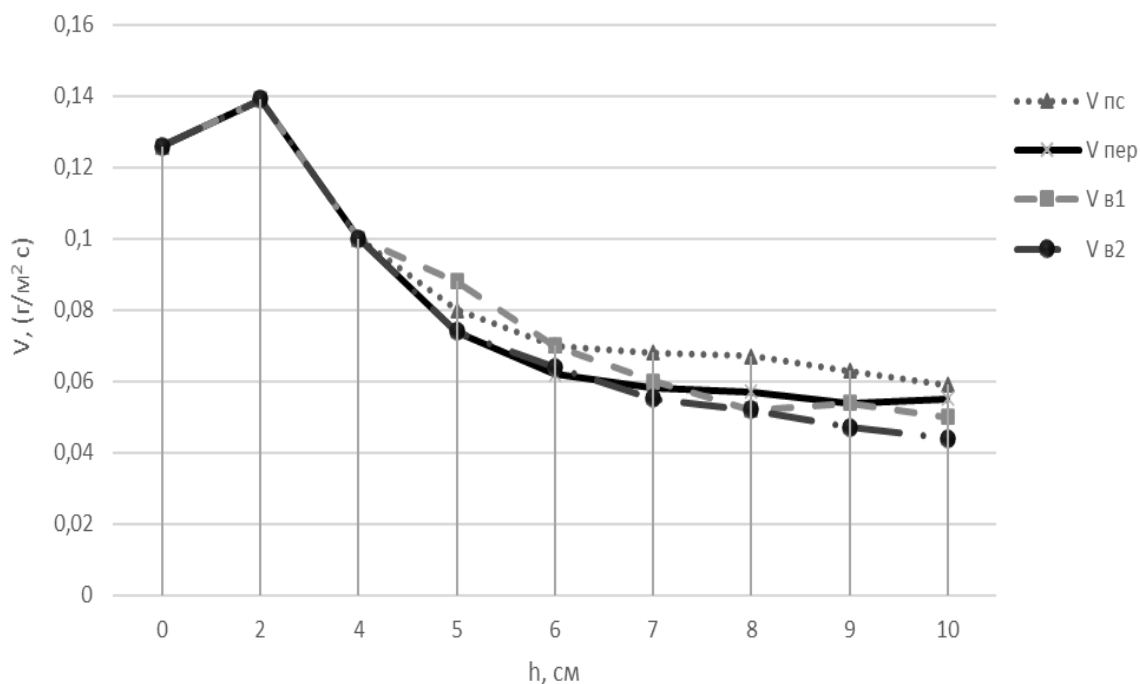
h, см	$\Delta m$ , г			
	Піноскло	Перліт	Вермикуліт -1	Вермикуліт -2
1	0,25	0,23	0,26	0,22
2	0,21	0,19	0,21	0,19
3	0,02	0,18	0,18	0,17
4	0,20	0,17	0,16	0,16
5	0,18	0,16	0,16	0,14
6	0,17	0,16	0,15	0,13

На основанні експериментальних даних було розраховано масову швидкість випаровування бензину ( $V$ ) за співвідношенням:

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

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

На рис. 1 наведено залежності масової швидкості випарування від товщини ізолюючого шару гранульованих матеріалів.



**Рис. 1.** Залежність зміни масової швидкості випарування рідини ( $V$ ) від товщини шару ізолюючої речовини ( $h$ )

Аналіз наведених залежностей дозволяє зробити висновок, що і перліт і вермикуліт забезпечують більші ізолюючі властивості ніж шар

такої самої товщини з ПС. Нійбільші ізолюючі властивості забезпечує спучений вермикуліт – 2. Перевага в ізолюючих властивостях вермикуліта – 2 за товщиною його шару 6 см по зрівнянню з ПС такої самої загальної товщини складає 25 %. Також можна констатувати шар вермикуліту – 2 товщиною 3 см забезпечує такі самі ізолюючі властивості, як шар ПС товщиною 6 см.

**Висновки.** Для зменшення швидкості випарування легкозаймистих рідин запропоновано використовувати бінарні шари піноскло + інший гранульований матеріал. В якості таких матеріалів розглянуто перліт і вермикуліт. Експериментально встановлено, що бінарні шари піноскло + інший гранульований матеріал мають більші ізолюючі властивості ніж подрібнене піноскло. Перевага в ізолюючих властивостях вермикуліту з розміром гранул 2–5 мм за товщиною його шару 6 см по зрівнянню з піносклом такої самої загальної товщини складає 25 %. Також можна констатувати шар вермикуліту товщиною 3 см забезпечує такі самі ізолюючі властивості, як шар піноскла товщиною 6 см.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Campbell R. Fires at outside storage tanks // Report National fire protection association: August 2014. URL: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports>
2. Hylton J. G. US fire department profile // Report: NFPA's. April 2017. P. 39. Режим доступу: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.pdf>
3. Антонов А. В., Боровиков В. О., Орел В. П. та ін. Вогнегасні речовини: посібник. К.: Пожінформтехніка. 2004. 176 с.
4. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. М.: Калан. 2002. 448 с.
5. Боровиков В. Гасіння пожеж у резервуарах для зберігання нафти та нафтопродуктів // Пожежна та техногенна безпека. 2015. №11(26). С. 28–29.
6. Ковалишин В. В., Васильєва О. Е., Козяр Н. М. Пінне гасіння. Львів: СПОЛОМ, 2007. С. 137–138.
7. T. Ivanković, J. Hrenović, Surfactants in the environment, Arh. Hig. Rad. Toksikol. 61 (2010) 95–110.
8. E. Olkowska, Z. Polkowska, J. Namieśnik, Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges, Chem. Rev. 111 (2011) 5667–5700.
9. Дадашов И. Ф., Киреев А. А. Экспериментальне дослідження впливу шару гранульованого піноскла на горіння бензину // Пожежна безпека. 2017. №31. С. 36–42.
10. Дадашов И. Ф. Экспериментальное исследование влияния толщины слоя гранулированного пеностекла на горение органических жидкостей // Проблемы пожарной безопасности. 2018. Вып.43. С. 38–44.
11. Дадашов И. Ф., Трегубов Д. Г., Сенчихин Ю. М., Киреев О. О.

Напрямки вдосконалення гасіння пожеж нафтопродуктів // Науковий вісник будівництва. т.94. №4. 2018. С. 238–249.

12. Дадашов И. Ф., Киреев О. О., Трегубов Д. Г., Корчагина А. П. Гасіння горючих рідин вогнегасною системою на основі змоченого гранульованого піноскла // Проблемы пожарной безопасности. 2019, Вып. 45. С. 34–40.

13. Дадашов И. Ф., Киреев А. А., Шаршанов А. Я. Замедление испарения жидкости слоем гранулированного материала, нанесённого на её поверхность // Проблемы пожарной безопасности. 2017. Вып. 41. С. 53–58.

V. S. Makarenko, A. A. Kireev, M. A. Chirkina, I. F. Dadashov

#### **Исследование изолирующих свойств слоёв легких пористых материалов**

Для уменьшения скорости испарения легковоспламеняющихся жидкостей предложено использовать бинарные слои пеностекло + другой гранулированный материал. В качестве таких материалов рассмотрено вспученный перлит и вермикулит. Экспериментально установлено, что бинарные слои пеностекло + другой гранулированный материал имеют большие изолирующие свойства чем дроблёное пеностекло. Преимущество в изолирующих свойствах вермикулита с размером гранул (2-5) мм при толщине его слоя 6 см, по сравнению с пеностеклом такой же общей толщины составляет 25%. Слой вермикулита толщиной 3 см обеспечивает такие же изолирующие свойства, как слой пеностекла толщиной 6 см.

**Ключевые слова:** изолирующие свойства, массовая скорость испарения, слой гранулированных материалов, перлит, вермикулит, пеностекло.

V. Makarenko, A. Kireev, M. Chirkina, I. Dadashov

#### **Investigation of the insulating properties of layers of light porous materials**

To reduce the rate of evaporation of flammable liquids, it is proposed to use binary layers of foamglass + other granular material. Perlite and vermiculite are considered as such materials. It has been experimentally established that the binary layers of foam glass + other granular material have greater insulating properties than crushed foamglass. The advantage in the insulating properties of vermiculite with a granule size of (2-5) mm and a layer thickness of 6 cm, in comparison with foamglass of the same total thickness, is 25%. A 3 cm layer of vermiculite provides the same insulating properties as a 6 cm layer of foam glass.

**Keywords:** insulating properties, mass evaporation rate, ball of granulated materials, perlite, vermiculite, foam glass.