

УДК 614.84

В. С. Макаренко, ад'юнкт ад'юнктури (ORCID 0000-0001-5629-1159)
О. О. Кіреєв, д.т.н., доцент, проф. каф. (ORCID 0000-0002-8819-3999)
Д. Г. Трегубов, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0003-1821-822X)
М. А. Чиркіна, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-2060-9142)
 Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕГАСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІНАРНИХ ШАРІВ ЛЕГКИХ ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

Для гасіння легкозаймистих рідин запропоновано використовувати бінарні шари гранульоване піноскло + інший легкий пористий матеріал. Гранульоване піноскло виконує функцію матеріалу, що забезпечує плавучість бінарної системи. В якості матеріалів, які забезпечують переважно ізолюючі властивості бінарної вогнегасної системи обрано спучені перліт і вермикуліт. Експериментально визначені насипна густина легких пористих матеріалів, їх плавучість та вологоутримання. Встановлено, що низька плавучість спучених перліту та вермикуліту не дозволяє їх безпосереднє використання без попереднього нанесення шару подрібненого піноскла для гасіння бензину. Наведено експериментальні дані, які отримані гравіметричним методом з масових швидкостей вигорання та умов загасання бензину на поверхню якого нанесено бінарний вогнегасний шар із сухих та змочених обрних пористих матеріалів. Встановлено, що масова швидкість вигорання бензину за товщини шару піноскла 0, 2 і 4 см складала відповідно 9,2 г/(м²•с), 6,0 г/(м²•с) і 2,7 г/(м²•с). В разі використання сухих спучених перліту та вермикуліту, які нанесено на базовий шар піноскла висотою 4 см масові швидкості вигорання бензину зменшується в 2-4 рази по зрівнянню з такими самими шарами піноскла. Загальна вогнегасна висота шару сухих перліту та вермикуліту, що нанесені на базовий шар піноскла висотою 4 см складає 2 см. Для гасіння бензину тільки сухим піносклом потрібен шар піноскла 6 см нанесений на базовий шар. Вразі використання змочених матеріалів з максимальних вологоутриманням які нанесені на базовий шар піноскла гасіння бензину досягається за товщиною шару змоченого піноскла 3 см, а перліту та вермикуліту 1 см. Вогнегасні властивості перліту та вермикуліту в разі їх нанесення на базовий шар подрібненого піноскла перевищують відповідну характеристику піноскла. Змочування піноскла, спучених перліту та вермикуліту та вермикуліту призведе до збільшення вогнегасних властивостей легких пористих матеріалів.

Ключові слова: легкозаймисті рідини, бензин, гасіння рідин, бінарна вогнегасна система, масова швидкість вигорання, перліт, вермикуліт, піноскло, змочені матеріали

1. Вступ

Гасіння горючих рідин (ГР) є однією з найскладніших проблем пожежога-сіння. Особливо великі труднощі викликає гасіння легкозаймистих рідин (ЛЗР). Такі пожежі характеризуються великою тривалістю, високим матеріальним збитком і нерідко людськими жертвами [1]. Труднощі гасіння таких рідин багатократно збільшуються в разі горіння резервуарів з ЛЗР великих розмірів [2].

Для гасіння горючих рідин запропоновано використовувати багато різновидів вогнегасних речовин: розпилену та тонкорозпилену воду, хладони, вогнегасні порошкові засоби, аерозолі, тверду вуглекислоту, гази-розріджувачі, газоподібні інгібітори [3]. 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. Ці вогнегасні засоби дають позитивний результат у разі якщо площа дзеркала ГР мала. В разі великих площ горіння рідин важко забезпечити умови припинення горіння одночасно над усією площею ГР. Якщо над частиною поверхні рідини не створюються умови припинення горіння, то над цією ділянкою горіння продовжується, що в подальшому призведе до поширення горіння над усією поверхнею рідини.

У теперішній час найбільш ефективним і універсальним засобом гасіння ГР є повітряно механічні піни [4]. В разі використання пін домінуючим механізмом припинення горіння є ізоляція поверхні ГР. Деякий внесок у вогнегасні властивості надає процес охолодження рідини та ефект розведення пари рідини парою води. Використання пін для гасіння пожежі дозволяє ізолювати всю поверхню ГР на деякий час. Якщо цього часу достатньо для охолодження поверхні рідини та оточуючих конструкцій нижче температури займання відбувається гасіння пожежі.

Для одержання різних за властивостями вогнегасних пін розроблено багато різних видів піноутворювачів (ПУ). Серед них найбільш ефективними є плівкоутворюючі піноутворювачі. Вони дозволяють отримувати вогнегасні піни, які можна використовувати при гасінні полярних ГР. Але ці ПУ містять в своєму складі фторовані поверхневоактивні речовини які суттєво знижують їх екологічні та економічні параметри [5].

Крім того для усіх вогнегасних пін присутній загальний недолік – вони мають невелику стійкість. Вважаючи на то, що гасіння великомасштабних пожеж за участю ГР може продовжуватися декілька годин і навіть дів можна констатувати, що для успішного гасіння потрібні великі витрати вогнегасної піни.

Висновок - існує проблема низької ефективності існуючих засобів пожежо-гасіння горючих та легкозаймистих рідин. Це потребує розробки більш ефективних засобів гасіння ГР, причому одним з основних вимог до такого вогнегасного засобу ГР є його висока стійкість.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У якості вогнегасного засобу для пожеж класу «В» [6] з необмежено великою стійкістю раніш було запропоновано використовувати тверді пористі матеріали низької щільності на поверхню яких наноситься шар гелю [7]. Плавучість такого вогнегасного засобу в ГР забезпечує подрібнене піноскло (ПС). ПС – це легкий пористий матеріал, що являє собою затверділу скляну піну [8]. Його особливістю є повністю неорганічний хімічний склад, що забезпечує негорючість, стійкість до впливу мікроорганізмів, високу вологостійкість. Вітчизняна промисловість виробляє подрібнене ПС різного гранулометричного складу. Подрібнене ПС має відкриті зовнішні пори та закриті внутрішні пори. Це забезпечує можливість підвищення його охолоджуючих властивостей за рахунок змочування водою. Масова частка утримуваної подрібненим ПС з розміром гранул 1-1,5 см води змінюється в діапазоні від 30 до 50 %. Недоліком ПС є його низькі ізолюючі властивості по відношенню до пари ГР. Але його доцільно у подальшому використовувати в якості носія для іншого матеріалу з високими ізолюючими властивостями, який можна нанести на його поверхню.

Раніш для утворення на поверхні ПС ізолюючого шару гелю було обрано гелеутворюючу систему (ГУС) $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$. Суцільний шар гелю виявляє високі ізолюючі властивості – коефіцієнт уповільнення випаровування для вуглеводнів шару гелю товщиною 2 мм складає ~ 30 . Але при нанесенні на шар ПС з розміром гранул (10-15) мм гелевого покриття, суцільний шар утворюється в разі його товщини більше 7 мм, або поверхневою витратою ГУС не менше 7 г/см². Такий шар гелю потребує для забезпечення плавучості системи використовувати додатковий шар ПС з загальною товщиною більше 10 см.

У випадку гасіння легкокиплячих рідин ($T_{\text{кип}} < 100^\circ\text{C}$) позитивний результат гасіння досягається нанесенням шару сухого піноскла товщиною ~ 50 см без

подавання компонентів гелеутворюючої системи, або нанесенням шару сухого піноскла загальної товщиною не менш 14 см з наступним подаванням компонентів гелеутворюючої системи, з поверхневою витратою не менше 0,2 г/см². Недоліком вогнегасної системи гранульоване ПС + ГУС у разі гасіння низькокиплячих рідин є великі витрати ПС і потреба у використанні трьох окремих вогнегасних речовин і трьох окремих засобів їх подавання – одного для подавання гранул ПС та двох для роздільного – одночасного подавання двох компонентів ГУС.

В той самий час аналіз експериментальних даних [7] дозволяє зробити висновок, що для гасіння висококиплячих рідин ($T_{\text{кип}} > 100^{\circ}\text{C}$) потрібно нанести шар змоченого ПС товщиною від 3 до 10 см, без додаткового нанесення шару гелю. Економічні розрахунки показують перевагу такого вогнегасного засобу при гасінні висококиплячих рідин по зрівнянню з пінними засобами пожежогасіння в 2–4 рази.

Дослідження умов гасіння різних горючих рідин дозволило авторам роботи [7] зробити висновок, що у випадку гасіння висококиплячих ГР доцільно використовувати змочене ПС без додаткового нанесення шару гелю, а в разі гасіння ЛЗР доцільне сумісне використання ПС та ГУС [9].

У роботі [9] обґрунтовано можливість використання твердих легких матеріалів замість ГУС, як засобів підвищення ізолюючих властивостей вогнегасного засобу. В цій роботі в якості таких матеріалів було розглянуто негорючі неорганічні пористі матеріали, які виробляються промисловістю – спучених вермикуліту [10], та перліту [11]. Безпосередньо ці матеріали неможливо використовувати по одинці, без застосування гранульованого ПС – спучені перліт та вермикуліт мають низьку плавучість у зв'язку з наявністю у них великої кількості відкритих пор. Тобто вогнегасний засіб буде складатися з двох шарів: перший шар утворює гранули ПС, а другий - гранули спученого перліту або вермикуліту. Перевагою такої вогнегасної системи по зрівнянню використанням системи ПС + ГУС є можливість послідовного подавання двох вогнегасних речовин за допомогою одного засобу і в 4-6 разів менша щільність шарів перліту та вермикуліту по зрівнянню з шаром гелю. У роботі [9] також показано, що шари перліту та вермикуліту мають більш високі ізолюючі властивості по зрівнянню з шаром ПС такої самої товщини. В роботі [12] проведено моделювання двошарових ізолюючих покриттів на основі твердих пористих матеріалів. Ця модель дозволила встановити що ізолюючі властивості збільшуються зі зменшенням об'єму порожнин в шарі гранульованих матеріалів.

Вогнегасні властивості засобу пожежогасіння гранульоване ПС + спучені перліт або вермикуліт до теперішнього часу не було досліджено. Тому невирішеною частиною проблеми підвищення ефективності гасіння легкозаймистих рідин за допомогою легких пористих матеріалів є встановлення вогнегасної товщини шарів перліту і вермикуліту в разі їх нанесення на шар піноскла.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є експериментальне визначення вогнегасних властивостей засобів пожежогасіння легкозаймистих рідин, які складаються з двох шарів: нижній шар складається з гранул подрібненого піноскла, а верхній шар з гранул спучених перліту або вермикуліту.

Для цього необхідно вирішити наступні завдання:

1. Експериментально визначити насипну щільність, плавучість та вологоутримання піноскла, спучених перліту та вермикуліту.

2. Дослідити вплив шарів спучених перліту та вермикуліту на масову швидкість вигорання та умови погасання бензину в лабораторному модельному вогнищі пожежі класу «В» та умови погасання бензину у випадку використання змочених вогнегасних матеріалів.

4. Матеріали та методи дослідження гелеутворюючих систем

В якості ЛЗР було обрано бензин А-92. Згідно з інформацією виробника його температура спалаху складала $-(38\pm 3)^{\circ}\text{C}$. Для забезпечення плавучості верхніх ізолюючих шарів було обрано подрібнене ПС з розміром гранул (10 – 15) мм. Для формування верхнього ізолюючого шару було обрано, як у роботі [7] спучений перліт з розміром гранул кулеподібної форми ($1,2 \pm 0,2$) мм та спучений вермикуліт у вигляді пластинок з найбільшим розміром $2 \times 2,5$ мм (вермикуліт – 1) і 2×5 мм (вермикуліт – 2).

5. Дослідження насипної щільності, плавучості та вологоутримання піноскла, перліту та вермикуліту

Насипна щільність визначалась гравіметричним методом за методикою наведеної в [7]. Зважування проводилось на вагах ТНВ-600, що забезпечило точність вимірювання $\pm 0,01$ г. Вимірювання проводили за температури $(22\pm 1)^{\circ}\text{C}$. Відповідні результати представлено в табл. 1.

Прямий розрахунок плавучості з даних щодо густини бензину та ПС неможливий, тому що гранульоване ПС має відкриті зовнішні пори, заповнення рідиною, яких важко врахувати.

У якості кількісної характеристики плавучості (П) було обране відношення висоти шару ПС, що перебуває над рівнем рідини, до загальної висоти шару ПС:

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

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

Знання плавучості й загальної товщини шару ПС дозволяє розрахувати висоти шарів ПС як над шаром, так і під шаром рідини. Останні дві характеристики є визначальними для знаходження ізолюючих й охолоджуючих характеристик вогнегасної системи.

Для визначення плавучості в прозору ємність об'ємом 2 дм^3 заливали 1 дм^3 бензину, далі – рівномірно засипали 1 дм^3 гранульованого ПС. Висоту шару ПС зануреного у рідину та того, що перебуває вище рівня рідини, визначали візуальним методом за допомогою лінійки. Одночасно візуальним методом проводилась оцінка долі матеріалу що потонуло у бензині. Зі співвідношення (1) було розраховано плавучість сухого ПС (П). Відповідні результати представлено в табл. 1.

Для визначення вологоутримання легких матеріалів ваговим методом визначалась маса сухого легкого матеріалу та маса води що вона утримала після занурення в воду з наступним етапом вільного зтікання води протягом 5 хвилин. Процедура змочування ПС передбачала заливання його водою та притиснення шару ПС вантажем на 5 хвилин. При цьому піноскло утримує певну кількість води. Масові долі води в легких матеріалах наведено в табл. 1.

Табл. 1. Характеристики легких матеріалів: насипна щільність (ρ) плавучість (Π), частка гранул, що потонула (пот), розмір гранул (l) обраних матеріалів та вологоутримання B

Характеристика	Матеріал			
	піноскло	перліт	вермікуліт – 1	вермікуліт – 2
ρ , кг/м ³	94	168	289	185
Π	0,54	0,25	<0,1	0,35
пот, %	2	10	90	10
l , мм	10 - 15	1,2 \pm 0,2	2 \times 2,5	2 \times 5
B , %	34	48	48	68

6. Дослідження впливу шарів легких матеріалів на горіння та умови погасання бензину

Основним параметром, що визначає інтенсивність горіння або випарування ГР, є масова швидкість вигорання (V). Кількісно V визначають виходячи зі співвідношення:

$$V = \frac{\Delta m}{\tau \cdot S}, \text{ г/(м}^2\text{с)}, \quad (2)$$

де Δm – зміна маси рідини в досвіді, г; τ – час горіння або випаровування рідини, с; S – площа поверхні рідини, м².

Спочатку була вивчена швидкість вигорання бензину з вільної поверхні. В якості лабораторного модельного вогнища пожежі класу «В» була обрана металева ємність циліндричної форми з внутрішнім діаметром 11,2 см ($S = 98,5 \text{ см}^2$) [13]. У нього заливалося 100 мл бензину, що забезпечувало шар рідини в металевій ємності ~ 1 см. Після цього бензин підпалювався, і гравіметричним методом визначалася втрата його маси. Зважування здійснювалось за допомогою електронних ваг безперервного зважування ТНВ-600. Точність зважування становила 0,01 г. Виміри проводилися при температурі навколишнього повітря (22 ± 1)°С.

Наступним етапом досліджень стало вивчення швидкості вигорання бензину з нанесеним шаром гранульованого ПС фракції (1-1,5) см. Після 1 хвилину вільного горіння бензину на його поверхню наносився шар ПС товщиною 4 см. При цьому рівень рідини піднімався до ~ 2 см від дна металічної ємності. Через 2 хвилин горіння, після стабілізації розміру полум'я, починалася фіксація втрати маси лабораторного модельного вогнища пожежі класу «В» з інтервалом в 1 хв протягом 2 хвилин. Результати дослідів показали, що масова швидкість вигорання в цьому часовому інтервалі стала. Після цього наносився додатковий шар ПС товщиною 1 см, і протягом 2 хвилин проводилася фіксація втрати маси лабораторного модельного вогнища пожежі класу «В». В подальшому процедура повторювалася до накопичення такого шару ПС, коли досягалось припинення горіння. Експеримент проводився в інтервалі збільшення шару ПС до моменту припинення горіння. Після формування шару ПС, що забезпечив припинення горіння, проводилися вимірювання масової швидкості випаровування бензину крізь цей шар ПС вже за відсутністю горіння.

В ході дослідів з ПС було встановлено, що масова швидкість вигорання бензину за товщини шару ПС 0, 2 і 4 см складала відповідно 9,2 г/(м²·с), 6,0 г/(м²·с) і 2,7 г/(м²·с).

Наступні досліді починались з підпалу бензину, його вільного горіння протягом 3 хвилин. Далі засипався базовий шару ПС товщиною 4 см. Подальше різні

легкі матеріали додавались з інтервалом 1 см. В якості легких пористих матеріалів верхнього шару було обрано спучений перліт (пер) з розміром гранул кулеподібної форми ($1,2 \pm 0,2$) мм та спучений вермикуліт у вигляді пластинок двох розмірів $2 \times 2,5$ мм (верм – 1) і 2×5 мм (верм – 2). Відповідні графічні залежності для різної товщини шару ПС, спученого перліту з та вермикуліту – 1 і вермикуліту – 2 представлені на рис. 1.

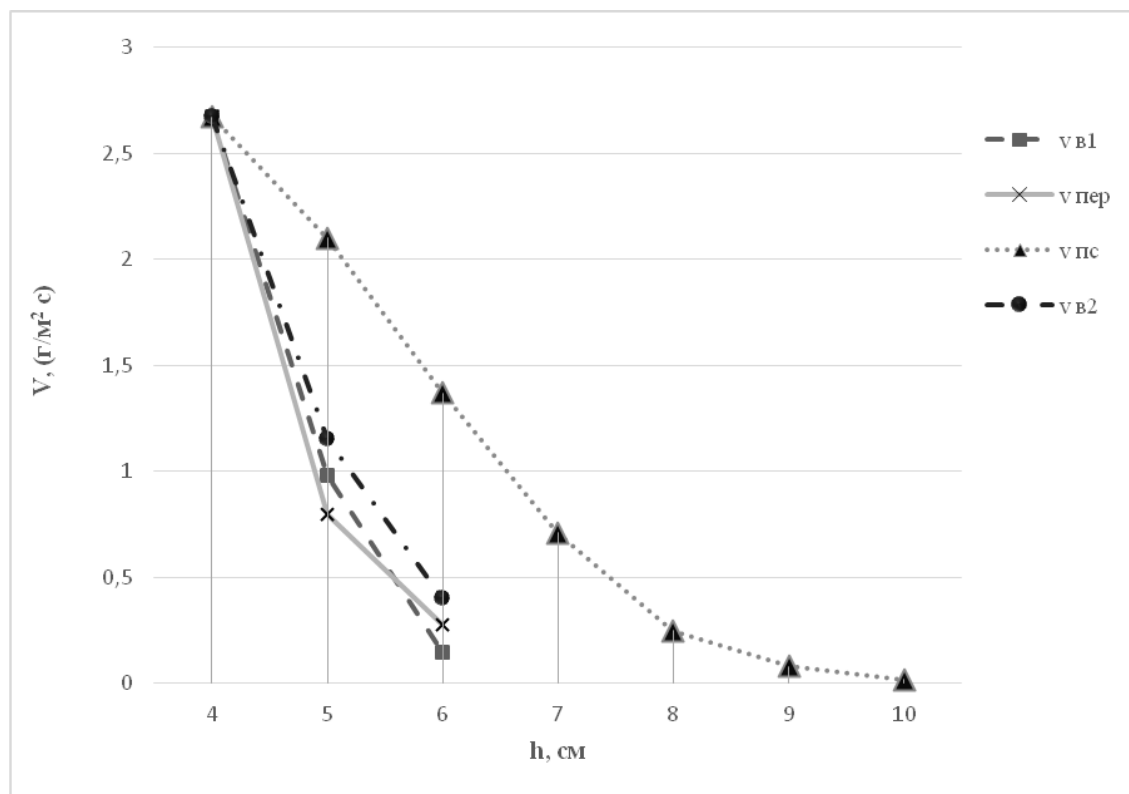


Рис. 1. Залежність зміни масової швидкості вигорання рідини (V) від шару сухої ізолюючої речовини (h)

Останні точки на графіку для кожного матеріалу відповідають припиненню процесу горіння. Тобто в таких випадках наведені данні відповідають масовій швидкості випаровування бензину крізь шар легких пористих матеріалів.

Для якісної оцінки інтенсивності горіння було запропоновано якісну шкалу інтенсивності горіння [14] (табл. 2), яку буде використано в цій роботі.

Табл. 2. Якісна шкала характеру горіння рідин

Бали	Характеристика полум'я	Висота полум'я
5	дуже сильне горіння	близька до висоти полум'я без шару легкого матеріалу
4	сильне горіння	близька до $\frac{1}{2}$ висоти полум'я без шару легкого матеріалу
3	помірне горіння	близька до $\frac{1}{10}$ висоти полум'я без шару легкого матеріалу
2	слабке горіння	менше $\frac{1}{10}$ висоти полум'я без шару легкого матеріалу
1	дуже слабке горіння –	менше $\frac{1}{10}$ висоти полум'я без шару легкого матеріалу, полум'я охоплює менш $\frac{1}{2}$ поверхні
0	повне загасання полум'я	-

Результати експерименту наведено в табл. 3.

Табл. 3. Характер горіння (ХР) за різних висот шару легких матеріалів (h), вогнегасна висота шару різних легких матеріалів (H), які нанесені на базовий шар ПС висотою 4 см

Матеріал/вміст води, %	h, см							H, см
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5-5,5	
	ХР, бали*							
ПС/0	3	3	2	2	2	2	1	6
ПС/34	3	3	2	1	1	0	-	3
Пер/0	3	2	1	0	-	-	-	2
Пер/48	2	0	-	-	-	-	-	1
Верм-1/0	3	2	1	0	-	-	-	2
Верм-1/48	2	1	0	-	-	-	-	1,5
Верм-2/0	3	2	1	0	-	-	-	2
Верм-2/68	2	0	-	-	-	-	-	1

*Для базового шару ПС висотою 4 см (h = 0 см) ХР = 4

7. Обговорення результатів дослідження вогнегасних властивостей легких матеріалів

На підставі отриманих експериментальних даних по співвідношенню (2) були розраховані масові швидкості вигорання і випаровування бензину. На відміну від попередніх робіт [13], вже при внесенні такої маси ПС, яка забезпечує утворення шару ПС висотою 2 см, цій шар осідає на дно ємності. При цьому рівень бензину складає близько 2 см від дна. Це означає, що висота шару легкого матеріалу над рівнем рідини (h_{\uparrow}) при подальших досипаннях таких матеріалів буде дорівнювати загальній товщині шару легкого матеріалу ($h_{\text{заг}}$) мінус 2 см.

Аналіз наведених залежностей дозволяє зробити висновок, що найгірші вогнегасні властивості виявляє подрібнене ПС. Перевага у вогнегасній висоті шару спученого перліту і двох видів спучених вермикулітів по зрівнянню з ПС складає 4 см. Це підтверджує висновок який зроблено у роботі [9] про більш високі ізолюючі властивості більш дрібних легких матеріалів перліту та вермикуліту по зрівнянню з подрібненим ПС. Загальна вогнегасна висота шару перліту та вермикуліту, що нанесені на базовий шар ПС висотою 4 см складає 2 см. Це означає, що для успішного гасіння бензину достатньо забезпечити утворення над рівнем бензину бінарний шар ПС (2 см) и такий самий шар спученого перліту або вермикуліту.

Таким чином, можна констатувати, що для гасіння бензину в лабораторному модельному вогнищі пожежі класу «В» потрібно створити шар ПС, що знаходиться вище рівня рідини на 8 см. У випадку застосування спучених перліту та вермикуліту такий шар складає 4 см., з яких 2 см складає шар ПС и 2 см перліту або вермикуліту.

Одночасно з гравіметричним методом визначення інтенсивності горіння візуально визначалась висота полум'я, яка в подальшому використовувалась при зрівнянні з гасінням лабораторного модельного вогнища змоченими легкими матеріалами.

Раніш було встановлено, що змочене ПС має кращі охолоджуючі властивості ніж сухе. Крім того змочене піноскло забезпечує додаткову складову вогнегасної дії – розведення зони горіння парою води. Пара води, зменшує концентрацію пари бензину та концентрацію кисню у просторі поблизу поверхні бінарного вогнегасного шару. Це може призвести до припинення горіння. Недоліком змочених матеріалів є їх менша плавучість по зрівнянню з сухими. Для визначення сумар-

ного впливу основних складових вогнегасної дії було проведено дослідження впливу змочення спученого перліту та вермикуліту на інтенсивність горіння бензину та умови його погасання.

На відміну від досліджень впливу сухих матеріалів на горіння бензину для змочених матеріалів неможливо експериментально визначити масову швидкість вигорання ГР. Це пояснюється тим, що сумарна втрата маси лабораторного модельного вогнища пожежі класу «В» буде визначатися втратою маси бензину в результаті його вигорання і втратою маси води за рахунок її випаровування. Гравіметричний метод не дозволяє розділити загальну втрату маси на дві окремих складових. Раніш в схожому випадку.

Дослідження проводились за тією ж самою методикою, як і у випадку гасіння сухими матеріалами, але без фіксації зміни маси. Замість визначення масової швидкості вигорання бензину візуально оцінювалась інтенсивність горіння по висоті полум'я з застосуванням запропонованої шкали.

Процедура змочування спучених вермикулітів та перліту була такою. Попередньо зважений граульовний матеріал заливався водою і притоплювався важкою пластиною на 5 хвилин. Після цього висипався на металічну сітку і стряхувався на ній протягом 1 хвилини. Наприкінці проводилось зважування змоченого матеріалу та розраховувався вміст води в ньому. Подальше різні легкі матеріали додавались з інтервалом 0,5 см. Для кожного матеріалу дослід проводився по три рази. В разі не співпадання результатів обирався найбільш гірший результат.

Після погасання бензину досліджувалась можливість повторного займання. Для цього через 1 хвилину після погасання лабораторного модельного вогнища на відстані ~ 1 см від поверхні верхнього вогнегасного шару легкого матеріалу підносився підпалений факел. У всіх випадках відбувався спалах, але полум'я протягом не більше 5 с у випадку змочених матеріалів загасало. В разі сухих матеріалів полум'я загасало за час не більше 20 с.

Порівняння вогнегасних характеристик сухих легких матеріалів зі змоченими вказує на те, що змочені легкі матеріали виявляють більшу вогнегасну здатність ніж сухі. Вогнегасні властивості матеріалів збільшуються зі зростанням водоутримання матеріалу. Так вермикуліт – 2 зі вмістом води 68% виявляє більшу вогнегасну здатність ніж вермикуліт – 1 зі вмістом води 48%. Найгірші вогнегасні властивості зі змочених легких матеріалів виявило подрібнене ПС.

Загальним висновком по використанню змочених матеріалів буде такий - для гасіння бензину в лабораторному модельному вогнищі пожежі класу «В» потрібно створити шар ПС, що знаходиться вище рівня рідини на 5 см. У випадку застосування спучених перліту та вермикуліту такий шар складає (3 – 3,5) см з яких 2 см приходиться на піносло базового шару.

Порівняння впливу сухих і змочених матеріалів на інтенсивність горіння бензину можна зробити на основі якісної шкали інтенсивності горіння, яка розглянута вище. Так для зменшення інтенсивності горіння бензину на 1 бал треба нанести додатковий шар сухого ПС висотою (1-2) см. У разі використання змоченого ПС для зниження інтенсивності горіння на 1 бал потрібен шар ПС (0,5 – 1) см. Для обох вермикулітів і перліту для зниження інтенсивності горіння на 1 бал достатньо шар сухого вогнегасного матеріалу в 0,5 см. Для змоченого перліту і вермикуліту з вологовмістом (68%) збільшення висоти шару на 0,5 см зменшує інтенсивність горіння на 2 бала.

Таким чином з досліджених легких матеріалів найкращими вогнегасними властивостями володіють змочені перліт і вермикуліт.

7. Висновки

1. Експериментально визначено насипну щільність, плавучість та вологоутримання піноскла, спучених перліту та вермикуліту. Насипна щільність піноскла у 2 – 3 рази менша за насипну щільність спучених перліту та вермикуліту. Плавучість піноскла у бензині складає 0,54, що в 2 – 5 разів більше за плавучість спучених перліту та вермикуліту. За вологоутриманням піноскло поступається спученим перліту та вермикуліту в 1,4 – 2 рази.

2. Експериментально встановлено, для гасіння бензину в лабораторному модельному вогнищі пожежі класу «В» потрібно створити шар сухого ПС, що знаходиться вище рівня рідини на 8 см. У випадку застосування сухих спучених перліту та вермикуліту такий шар складає 4 см, з яких 2 см складає шар ПС і 2 см перліту або вермикуліту. В разі використання змочених матеріалів для гасіння бензину в лабораторному модельному вогнищі пожежі класу «В» потрібно створити шар ПС, що знаходиться вище рівня рідини на 5 см. У випадку застосування спучених перліту та вермикуліту такий шар складає (3 – 3,5) см, з яких 2 см приходить на піноскло базового шару. Найкращі вогнегасні властивості забезпечують змочені перліт і вермикуліт як складові верхнього шару.

Література

1. Campbell R. Fires at Outside Storage Tanks. Report National fire protection association. 2014. URL: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports>

2. Hylton J. G. U.S. Fire Department Profile. Report: NFPA's. 2017. P. 39. URL: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.pdf>

3. LANG Xu-qing, LIU Quan-zhen, GONG Hong Study of Fire Fighting System to Extinguish Full Surface Fire of Large Scale Floating Roof Tanks. Procedia Engineering. 2011. №11. P. 189–195. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705811008344>

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

5. Olkowska E., Polkowska Z., Namieśnik J. Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges. Chem. Rev. 2011. № 111. P. 5667–5700. doi: <https://doi.org/10.1021/cr100107g>

6. EN 2:2012. Classification on fires – Part 3.

7. Дадашов І.Ф., Трегубов Д.Г., Сенчихін Ю.М., Кіреєв О.О. Напрямки вдосконалення гасіння пожеж нафтопродуктів. Науковий вісник будівництва. 2018. № 4. Т. 94. С. 238–249. URL: [https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Problems OfEmergencies/vol28/4dadashev.pdf](https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Problems%20Of%20Emergencies/vol28/4dadashev.pdf)

8. Karandashova N. S., Goltsman B. M., Yatsenko E. A. Analysis of Influence of Foaming Mixture Components on Structure and Properties of Foam. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. V. 262. P. 1–6. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012020>

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

10. William Bleam Layer Structure of Vermiculite and Smectite Group Minerals. *Soil and Environmental Chemistry*. 2017. № 2. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/vermiculite>
11. Samar M., Saxena D. S. Study of chemical and physical properties of perlite and its application in India. *International Journal of Science Technology*. V. 5. Is. 4. P. 70–80. URL: http://www.ijstm.com/images/short_pdf/1460020555_434V.pdf
12. Dadashov I., Kireev A. Kirichenko I., Kovalev A., Sharshanov A. Simulation of the properties two-layer material. *Functional Materials*. 2018. V. 25. № 4. P. 774–779. doi: <https://doi.org/10.15407/fm25.04.1>
13. Дадашов І.Ф. Експериментальне дослідження впливу товщини шару гранульованого пеностекла на горіння органічних рідин. *Проблеми пожежної безпеки*. 2018. Вип. 43. С. 38–44. URL: <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol43/dadashov.pdf>
14. Дадашов І.Ф., Трегубов Д.Г., Кіреєв О.О., Корчагіна А.П. Гасіння горючих рідин вогнегасною системою на основі змоченого гранульованого піноскла. *Проблеми пожежної безпеки*. 2019. Вип. 45. С. 34-40. URL: <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol45/Dadashov.pdf>

V. Makarenko, Adjunct

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

D. Tregubov, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

M. Chirkina, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

INVESTIGATION OF FIRE EXTINGUISHING PROPERTIES OF BINARY LAYERS OF LIGHTWEIGHT POROUS MATERIALS

To extinguish flammable liquids, it is proposed to use binary layers of granular foam glass + other light porous material. Granular foam glass serves as a material that ensures the buoyancy of the binary system. Exfoliated perlite and vermiculite are selected as materials that provide mainly insulating properties of the binary fire extinguishing system. The bulk density of light porous materials, their buoyancy and moisture retention have been experimentally determined. It is established that the low buoyancy of expanded perlite and vermiculite does not allow their direct use without prior application of a layer of crushed foam glass to extinguish gasoline. Experimental data obtained by the gravimetric method on mass burn-up rates and attenuation conditions of gasoline on the surface of which a binary fire-extinguishing layer of dry and wetted porous materials is applied are presented. It was found that the mass burnout rate of gasoline at a foam glass layer thickness of 0, 2 and 4 cm was 9.2 g / (m² • s), 6.0 g / (m² • s) and 2.7 g / (m² • s), respectively). In the case of using dry exfoliated perlite and vermiculite, which is applied to the base layer of foam glass with a height of 4 cm mass burning rate of gasoline is reduced by 2-4 times compared with the same layers of foam glass. The total fire-extinguishing height of the layer of dry perlite and vermiculite applied to the base layer of foam glass with a height of 4 cm is 2 cm. To extinguish gasoline only dry foam glass requires a layer of foam glass 6 cm applied to the base layer. In the case of using wetted materials with maximum moisture content applied to the base layer of foam glass, gasoline quenching is achieved by a layer thickness of wet foam glass 3 cm, and perlite and vermiculite 1 cm. Wetting of foam glass, exfoliated perlite and vermiculite and vermiculite leads to an increase in the fire-extinguishing properties of light porous materials.

Keywords: flammable liquids, gasoline, liquid extinguishing, binary fire extinguishing system, mass burnup rate, perlite, vermiculite, foam glass, wetted materials

References

1. Campbell, R. (2014). Fires at Outside Storage Tanks. Report National fire protection association. Retrieve from <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports>

2. Hylton, J. G. (2017). U.S. Fire Department Profile. Report: NFPA's. 39. Retrieve from <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.pdf>
3. LANG, Xu-qing, LIU, Quan-zhen, GONG, Hong. (2011). Study of Fire Fighting System to Extinguish Full Surface Fire of Large Scale Floating Roof Tanks. *Procedia Engineering*, (11), 189–195. Retrieve from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705811008344>
4. Code, P. (2018). Fire extinguishing media. Foam concentrates – Part 1: Specification for medium expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids. European committee for standardization.
5. Olkowska, E., Polkowska, Z. Namieśnik, J. (2011). Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges. *Chem. Rev*, (111), 5667–5700. Retrieve from <https://doi.org/10.1021/cr100107g>
6. Code, P. (2012). Classification on fires. European committee for standardization.
7. Dadashov, I. F., Trehubov, D. H., Senchykhin, YU. M. & Kiryeyev, O. O. (2018). Napryamky vdoskonalennya hasinnya pozhezh naftoproduktiv. *Naukovyy visnyk budivnytstva* (4, 94), 238–249. Retrieve from <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol28/4dadashev.pdf>
8. Karandashova, N. S., Goltsman, B. M. & Yatsenko, E. A. (2017). Analysis of Influence of Foaming Mixture Components on Structure and Properties of Foam Glass. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (262), 1–6. Retrieve from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012020>
9. Makarenko, V. S., Kiryeyev, O. O., Chyrkina, M. A. Dadashov, I. F. (2020). Doslidzhennya izolyuyuchykh vlastyvostey shariv lehkykh porystykh materialiv. *Problemy pozharnoy bezopasnosti*, (48), 112–118. Retrieve from <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/zbirky-naukovykh-prats-ppb/ppb48/15.pdf>
10. William Bleam Layer (2017). Structure of Vermiculite and Smectite Group Minerals. *Soil and Environmental Chemistry*, (2). Retrieve from <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/vermiculite>
11. Samar, M. & Saxena, D. S. Study of chemical and physical properties of perlite and its application in India. *International Journal of Science Technology*, (5, 4), 70–80. Retrieve from http://www.ijstm.com/images/short_pdf/1460020555_434V.pdf
12. Dadashov, I., Kireev, A., Kirichenko, I., Kovalev, A. & Sharshanov, A. (2018). Simulation of the properties two-layer material. *Functional Materials*, (25, 4), 774–779. doi: 10.15407/fm25.04.1
13. Dadashov, I. F. (2018). Eksperimental'noye issledovaniye vliyaniya tolshchiny sloya granulirovannogo penostekla na gorennye organicheskikh zhidkostey. *Problemy pozharnoy bezopasnosti*, (43), 38–44. Retrieve from <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol43/dadashov.pdf>
14. Dadashov, I. F., Tregubov, D. G., Kireyev, A.A. Korchagina, A. P. (2019). Hasinnya horyuchykh ridyn vohnehasnoyu systemoyu na osnovi zmochenoho hranulovanoho pinoskla. *Problemy pozharnoy bezopasnosti*, (45), 34–40. Retrieve from <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol45/Dadashov.pdf>

Надійшла до редколегії: 10.03.2021

Прийнята до друку: 14.04.2021