

УДК 614.84

*В. С. Макаренко, ад'юнкт (ORCID 0000-0001-5629-1159)**О. О. Кіреєв, д.т.н., професор, проф. каф. (ORCID 0000-0002-8819-3999)**М. А. Чиркіна-Харламова, к.т.н., доцент, заст. нач. каф. (ORCID 0000-0002-2060-9142)**Н. В. Мінська, д.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0001-8438-0618)**А. Я. Шаршанов, д.т.н., доцент, ст. викл. каф. (ORCID 0000-0002-9115-3453)**Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГАСІННЯ МОДЕЛЬНОГО ВОГНИЩА ПОЖЕЖІ КЛАСУ «В» СИПКИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Експериментально визначено витрати компонентів вогнегасної системи на основі легких сипких матеріалів на гасіння модельного вогнища пожежі класу «В» середніх розмірів. За результатами попередніх досліджень з гасіння модельного вогнища пожежі класу «В» малих розмірів в якості компонентів такої системи обрано гранульоване піноскло з розміром гранул 10–15 мм, спучений перліт з розміром гранул  $1,2 \pm 0,2$  мм або вермикуліт з розміром пластинок  $1 \times 2$  мм і розпилена вода. Піноскло в такій системі забезпечує їх плавучість та охолодження поверхневого шару рідини, що горить. Дрібний порошок спученого перліту забезпечує підвищення ізолюючих властивостей вогнегасної системи. Вода, що подається на верхній шар сипких матеріалів, крім підвищення ізолюючих і охолоджуючих властивостей системи, забезпечує довготривалу відсутність повторного займання. Для підвищення економічних параметрів вогнегасної системи проведено оптимізацію її складу за параметром ефект – вартість. Встановлено, що найменші економічні витрати на гасіння бензину забезпечує послідовне подавання трьох компонентів: подрібненого піноскла, дисперсного спученого перліту та розпиленої води з такими питомими поверхневими витратами –  $6,7$  кг/м<sup>2</sup>,  $1,6$  кг/м<sup>2</sup> і  $2,0$  кг/м<sup>2</sup> відповідно. Для оптимізованого складу було проведено дослідження з гасіння стандартного модельного вогнища пожежі класу «2В», результати яких близькі до результатів отриманих на модельних вогнищах малих та середніх розмірів. Показано, що запропонована вогнегасна система на основі легких сипких матеріалів має переваги за економічними та екологічними параметрами по зрівнянню з існуючими та раніш запропонованими засобами гасіння легкозаймистих рідин. Запропоновано засоби подавання легких сипких матеріалів. Відмічені напрямки робіт з впровадження вогнегасної системи на основі легких сипких матеріалів в практику пожежогасіння.

**Ключові слова:** легкозаймисті рідини, вогнегасні властивості, спучений перліт, подрібнене піноскло, оптимізація складу

### 1. Вступ

Пожежі за участю горючих та легкозаймистих рідин відносять до класу «В». Кількість таких пожеж та економічні збитки від них за останні роки залишаються на високому рівні [1–3]. Найбільш складними для гасіння пожеж класу «В» є пожежі в резервуарах великої місткості з легкозаймистими рідинами (ЛЗР). До останніх часів основними засобами гасіння таких пожеж були різні види вогнегасних пін [4–6]. Але всі види вогнегасних пін мають недоліки. В першу чергу з недоліків пін можна відміти їх низьку стійкість. Вони поступово руйнуються на поверхнях рідин. Руйнування пін суттєво прискорюється від дії теплового випромінювання полум'я рідини, що горить. До загального недоліку вогнегасних пін можна віднести неможливість їх використання для гасіння одночасно неполярних і полярних рідин. Такі види рідин потребують для свого гасіння використання різних типів піноутворювачів. Крім того, піноутворювачі містять у своєму складі поверхнево активні речовини, більшість з яких є екологічно небезпечними речовинами [7–8].

У зв'язку із зазначеним, підвищення ефективності гасіння пожеж класу «В» з використанням нових підходів та засобів є актуальною проблемою.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Запропоновано багато різних методів збільшення вогнегасної ефективності існуючих засобів пожежогасіння пожеж класу «В». Помітний ефект дають методи в яких реалізується механізм зриву полум'я [9]. Але цей підхід практично неможливо використати в разі реальної пожежі великих розмірів. Крім того, зрив полум'я не ліквідує можливість повторного займання [10]. Подальший розвиток набули методи інтенсифікації тепловідведення [11] і використання піротехнічних складів [12]. Недоліком методів інтенсифікації тепловідведення [13] і використання піротехнічних складів є неможливість забезпечити охолодження легкозаймистих речовин нижче температури займання горючої рідини. Також нові можливості дають методи гасіння горючих рідин за рахунок складів, що спучуються [14]. Але в зв'язку з високими температурами спучування існуючих засобів цей метод обмежується гасінням тільки рідин з температурами кипіння вище 200°C [15].

В роботі [16] наведено результати досліджень ізолюючих властивостей пін швидкого твердіння. Такі піни мають набагато більшу стійкість на поверхні як неполярних так і полярних рідин по зрівнянню з існуючими повітряно-механічними і компресійними пінами. За ізолюючими властивостями вони також мають кращі показники по зрівнянню з традиційними пінами. Виходячи з аналізу властивостей пін швидкого твердіння в роботі [17] зроблено висновок про переваги таких пін як засобів гасіння горючих рідин по зрівнянню з традиційними пінами. Але частина недоліків пінних засобів пожежогасіння притаманна пінам швидкого твердіння. По-перше, такі піни мають у своєму складі екологічно небезпечні поверхнево-активні речовини. По-друге, технічні засоби одержання і подання таких пін значно складніші ніж повітряно-механічних пін. Крім того, стійкість пін швидкого твердіння не перевищує декількох годин в умовах відсутності теплового впливу. В разі інтенсивного теплового впливу вони руйнуються протягом 10–20 хвилин.

Для подолання відмічених недоліків вогнегасних пін запропоновані вогнегасні засоби на основі легких сипких матеріалів і гелеутворюючих систем [18]. Такі вогнегасні системи складають собою двошарове покриття, яке формується на поверхні горючої рідини. Нижній шар забезпечує плавучість всієї системи, а верхній шар гелю надає системі високі ізолюючі властивості [19].

В якості легкого сипкого матеріалу нижнього шару обґрунтовано використання гранульованого або подрібненого піноскла (ППС). ППС має високу плавучість у всіх ГР. Воно є негорючим, термічно стійким матеріалом. В умовах реальної пожежі шар ППС загальною висотою 5–6 см може зберігатися на поверхні рідини, що горить, необмежений час. Також для нього характерні високі екологічні та економічні характеристики. Шар ППС має низькі ізолюючі характеристики, але виявляє суттєві охолоджуючі характеристики. Це дозволяє використовувати ППС для гасіння висококиплячих рідин без додаткового нанесення шару гелю. В разі гасіння ЛЗР вогнегасний шар ППС повинен в більшості випадків перевищувати 50 см.

Для зменшення вогнегасної висоти шару ППС потрібне додаткове нанесення на поверхню ППС шару гелю. Для повної ізоляції ЛЗР треба забезпечити утворення на його поверхні суцільного шару гелю. Це досягається в разі забезпечення поверхневої витрати гелю  $\sim 1$  г/см<sup>2</sup>. Але експерименти дозволили встановити, що гасіння бензину може відбутися в разі загальної товщі шару піноскла не менше 12 см і питомої поверхневої витрати гелю не менше 0,2 г/см<sup>2</sup>. Після нанесення шару гелю на шар ППС висотою 12 см горіння ЛЗР відбувається з низькою інтен-

сивністю. Це приводе до відсутності інтенсивних теплових потоків, що в свою чергу забезпечує багатогодинну стійкість гелевого шару.

Гасіння рідин, за допомогою вогнегасних засобів на основі легких сипких матеріалів і гелеутворюючих систем, має переваги, по зрівнянню з використанням для гасіння повітряно-механічних пін і пін швидкого твердіння, як в економічному, так і екологічному плані [18]. Але такий спосіб гасіння має свої недоліки. Він потребує використання трьох окремих вогнегасних речовин: легкого сипкого матеріалу, розчинів гелеутворювача і каталізатора гелеутворення. Це, в свою чергу, вимагає використання трьох окремих засобів подавання, що ускладнює весь процес гасіння. Ще одним з недоліків є велика густина гелевого шару, що потребує для забезпечення плавучості всієї вогнегасної системи збільшення висоти шару ППС.

В цілому можна констатувати, що в разі гасіння висококиплячих рідин найбільш ефективним вогнегасним засобом є змочене ППС. У разі гасіння ЛЗР, ефективність систем на основі ППС, як у випадку нанесення додаткового шару гелю, так і без його нанесення, суттєво менша, по зрівнянню з гасінням висококиплячих рідин. Для підвищення ефективності гасіння ЛЗР в роботі [20] запропоновано замість гелю на поверхню ППС наносити шар сухого або змоченого легкого сипкого матеріалу з меншим розміром гранул. В такому випадку дисперсний сипкий матеріал заповнює порожнини між гранулами ППС, що приводе до підвищення ізолюючих властивостей всього шару сипких матеріалів [21].

В цих роботах було проведено експериментальне дослідження вогнегасних властивостей систем, де в якості сипких матеріалів було обрано ППС з розміром гранул 10–15 мм, спучений перліт з розміром гранул  $1,2 \pm 0,2$  мм і пластинчатий вермикуліт з розміром пластинок  $1 \times 2$  мм. На поверхню шару сипких матеріалів подавалась розпилена вода. На основі таких досліджень було визначено вогнегасні характеристики запропонованого засобу з використанням лабораторного модельного вогнища пожежі малих розмірів. Площа поверхні рідини в ньому складала  $100 \text{ см}^2$ . Для наближення умов гасіння до реальних потрібне збільшення розміру модельного вогнища. Кількісні характеристики вогнегасних характеристик, що отримані на модельних вогнищах пожежі більшого розміру, будуть наближені до умов реальних пожеж.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є відсутність даних щодо вогнегасних характеристик систем на основі сипких матеріалів з використанням модельних вогнищ пожежі класу «В» більших за розміром, ніж лабораторне вогнище.

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

Метою роботи є експериментальне визначення вогнегасних характеристик систем, призначених для гасіння легкозаймистих рідин на основі легких сипких матеріалів з використанням модельних вогнищ пожежі класу «В» більших за розміром, ніж лабораторне вогнище, та вибір оптимального складу вогнегасного засобу.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні завдання:

1. Розробити методику визначення вогнегасних властивостей систем призначених для гасіння легкозаймистих рідин на основі легких сипких матеріалів, з використанням модельних вогнищ пожежі класу «В» більших за розміром ніж лабораторне вогнище.

2. Провести планування експерименту з визначення вогнегасних властивостей систем на основі легких сипких матеріалів.

3. Експериментально визначити вогнегасні властивості систем на основі легких сипких матеріалів.

4. Провести оптимізацію її складу за параметром ефект – вартість.

#### 4. Матеріали та методи дослідження

Об'єктом дослідження є процеси гасіння легкозаймистих рідин з використанням пористих сипких негорючих матеріалів. Предметом дослідження є розробка методики визначення вогнегасних характеристик систем призначених для гасіння легкозаймистих рідин на основі легких сипких матеріалів. Гіпотезою дослідження є відповідність чисельних значень питомих масових витрат компонентів вогнегасних систем піноскло + перліт і піноскло + перліт + вода, які отримані на модельних вогнищах пожежі малих розмірів на стандартному вогнищі пожежі «2В».

Методи дослідження:

- стандартні експериментальні методи визначення вогнегасних характеристик засобів пожежогасіння, які модифіковані з урахуванням особливостей систем на основі сипких матеріалів;

- для визначення кількості горючих і вогнегасних речовин використовувались вагові і об'ємні методи;

- при визначенні гранулометричного складу сипких матеріалів застосовано ситовий аналіз;

- для оптимізації в фінансових витрат використані елементи економічного аналізу.

Дослідження проведено на основі раніше отриманих результатів з гасіння лабораторного модельного вогнища малих розмірів. При плануванні та обробці результатів експерименту було враховано, що гасіння модельного вогнища пожежі можна за різних співвідношень висот шарів ППС і спученого перліту. Тобто ці параметри гасіння не є незалежними.

Визначення вогнегасних характеристик засобів пожежогасіння потребує фіксації умов гасіння. У випадку гасіння рідин використовують модельні вогнища пожежі класу «В». Суттєвий вплив на результати гасіння мають розміри модельного вогнища і матеріали, які використовуються для створення такого вогнища. В попередніх дослідженнях було використано лабораторне модельне вогнище пожежі малих розмірів. Воно представляло собою тонкостінну металеву ємність циліндричної форми з радіусом 5,6 см ( $S=100 \text{ см}^2$ ) і висотою борта 10,8 см. Лабораторні модельні вогнища використовують для з'ясування факторів, що впливають на гасіння пожежі та оцінки вогнегасних характеристик засобів пожежогасіння. Такі вогнища пожежі потребують невеликих часових і матеріальних витрат на відповідні дослідження. Наприклад, в розглянутому вище лабораторному модельному вогнищі об'єм горючої рідини складає  $\sim 0,1$  л.

Використання модельного вогнища, яке вміщує на порядок більший об'єм горючої рідини, дозволяє отримати наближені до реальних пожеж значення вогнегасних характеристик засобів пожежогасіння. В цій роботі таким модельним вогнищем було обрано металеву ємність циліндричної форми з товщиною стінок 1,5 мм діаметром 18 см ( $S=255 \text{ см}^2$ ) і висотою борта 14 см. Об'єм горючої рідини, який заливається в таку ємність складає 1 л. Таке модельне вогнище в цій роботі буде використано для визначення оптимального складу вогнегасної системи.

В якості матеріалу нижнього шару вогнегасної системи також було обрано [19] ППС з розміром гранул 1,0–1,5 см. В якості верхнього ізолюючого шару було

використано спучений перліт з гранулами сферичної форми діаметром 1–1,5 мм. Цей матеріал виявив найкращі вогнегасні властивості під час досліджень з гасіння лабораторного модельного вогнища пожежі класу «В» малих розмірів. В роботах [19, 20] було встановлено, що суттєво підвищити вогнегасні характеристики двошарової вогнегасної системи на основі легких сипких матеріалів можна шляхом змочування верхнього шару водою, або розчинами солей інгібіторів. Розчини солей інгібіторів забезпечують трохи більші вогнегасні властивості по зрівнянню з водою. Але виходячи з економічних та екологічних міркувань в подальших дослідженнях буде використовуватися вода. В якості ЛЗР було обрано автомобільний бензин А-92 з температурою спалаху  $-32^{\circ}\text{C}$ .

## **5. Визначення вогнегасних характеристик систем на основі легких сипких матеріалів**

### **5.1. Розробка методики визначення вогнегасних властивостей**

Методика визначення вогнегасних властивостей систем призначених для гасіння легкозаймистих рідин на основі легких сипких матеріалів розроблена шляхом модифікації відповідної методики для лабораторних модельних вогнищ пожежі класу «В» малих розмірів. Параметри дека представлені вище.

В деко заливалися 0,5 л води і 1 л бензину АІ-92. Після чого бензин підпалювався. Через 2 хв вільного горіння на його поверхню наносились обрані шари ППС і спученого перліту. В разі якщо інтенсивність горіння зменшувалась до 1 балу по шкалі запропонованій в роботі [22] на поверхню рідини подавалось 51 г розпиленої води. Така кількість води відповідає питомій поверхневій витраті води  $2 \text{ кг/м}^2$ .

У всіх випадках за такої процедури відбувалось загасання полум'я. Через 5 хвилин після загасання полум'я до поверхні шару сипких матеріалів підносився факел, що горить. Якщо не відбувалось повторне займання, вважалось, що гасіння відбулось. Якщо спостерігалось займання, дослід повторювали з більшою на 1 мм висотою шару спученого перліту.

### **5.2. Планування експерименту з визначення вогнегасних властивостей**

Запропонована вогнегасна система на основі легких матеріалів складається з трьох компонентів: ППС, спученого перліту і води. Під час дослідів з використанням лабораторного модельного вогнища пожежі було встановлено, що мінімальна висота шару ППС, що знаходиться вище рівня рідини, повинна бути 2 см. В іншому випадку суттєва частина перліту просипляється крізь шар ППС. Крім того, питома поверхнева витрата розпиленої води не повинна бути більше  $2 \text{ кг/м}^2$ , тому що надлишкова вода стікає в шар горючої рідини.

В досліді з використанням лабораторного модельного вогнища базовий шар ППС досягав дна ємності, що не дозволяло йому затоплюватися в рідині. В реальних умовах при горінні резервуарів з ЛЗР при нанесенні верхніх шарів, шар ППС поступово занурювався в рідину. Методика розрахунку потрібної загальної висоти шару ППС наведено в роботі [22].

Для відповідних розрахунків потрібно знання насипної щільності сипких матеріалів і плавучості ППС. Середні значення насипної густини і плавучості ППС і спученого перліту представлені в табл. 1.

Ці дані дозволили встановити, що в бензині 1 см шару ППС може утримати верхній шар ППС висотою 1,1 см. Або в розрахунку  $1 \text{ м}^2$  такий шар ППС може

утримати масу іншого матеріалу верхнього шару масою  $1,08 \text{ кг/м}^2$ . З цього випливає, що для забезпечення плавучості  $2 \text{ кг/м}^2$  води потрібен шар ППС товщиною  $1,85 \text{ см}$ . В попередніх дослідах з гасіння лабораторного модельного вогнища пожежі встановлено, що максимальна товщина шару перліту, яка потрібна для гасіння складає  $1 \text{ см}$ . Це відповідає масовій поверхневій витраті перліту  $1,63 \text{ кг/м}^2$ . З цього випливає, що для забезпечення плавучості шару перліту висотою  $1 \text{ см}$  потрібен шар ППС висотою  $1,51 \text{ см}$ . Крім того, верхній шар вогнегасної системи, що знаходиться вище рівня, повинен мати шар ППС висотою не менш  $2 \text{ см}$ .

**Табл. 1. Характеристики ППС і спученого перліту: насипна щільність ( $\rho$ ), плавучість ( $\Pi$ ), розмір гранул ( $l$ ) ППС і частки сипучого матеріалу, що просипається крізь шар подрібненого піноскла (просип)**

Характеристика	Матеріал	
	піноскло	перліт
$\rho, \text{ кг/м}^3$	98	163
$\Pi$	0,52	0,25
$l, \text{ мм}$	10 – 15	$1,2 \pm 0,2$
просип(%)	0	$\leq 5$

Підбір оптимального складу вогнегасної системи на основі легких сипких матеріалів буде проводитися шляхом зміни співвідношення висот шарів перліту і ППС. Масова поверхнева витрата води на основі попередніх результатів на лабораторному модельному вогнищі пожежі обрана рівною  $2 \text{ кг/м}^2$ . Тобто в розрахунку на  $1 \text{ м}^2$  площі поверхні бензину маса шару вогнегасної системи, що знаходиться вище рівня бензину ( $m \uparrow$ ) складе:

$$\begin{aligned}
 m \uparrow &= m \uparrow (\text{ППС}) \oplus m(\text{пер}) \oplus m(\text{H}_2\text{O}) = \\
 h \uparrow (\text{ППС}) \cdot \rho(\text{ППС}) \oplus h(\text{пер}) \cdot \rho(\text{пер}) \oplus m(\text{H}_2\text{O}) &= \\
 h \uparrow (\text{ППС}) \cdot 98 \oplus h(\text{пер}) \cdot 163 \oplus 2,00 &, \quad (1)
 \end{aligned}$$

де  $m \uparrow (\text{ППС})$  – маса шару ППС верхнього шару,  $m(\text{пер})$  – маса перліту,  $m(\text{H}_2\text{O})$  – маса води,  $h \uparrow (\text{ППС})$  – висота шару ППС верхнього шару,  $h(\text{пер})$  – висота шару перліту,  $\rho(\text{ППС})$  – насипна щільність ППС,  $\rho(\text{пер})$  – насипна щільність перліту. Висота шарів у цій формулі виражена в метрах.

З наведених даних можна визначити висоту нижнього шару ППС ( $h \downarrow (\text{ППС})$ ), який забезпечує плавучість верхнього шару.

$$h \uparrow (\text{ППС}) = \frac{10^{-2}}{1,08} \cdot (h \uparrow (\text{ППС}) \cdot 98 \oplus h(\text{пер}) \cdot 163 + 2,00). \quad (2)$$

На основі знань висоти нижнього і верхнього шару ППС можна розрахувати його загальну висоту.

$$\begin{aligned}
 h(\text{заг})(\text{ППС}) &= h \uparrow (\text{ППС}) \oplus \frac{10^{-2}}{1,08} \cdot (h \uparrow (\text{ППС}) \cdot 98 \oplus h(\text{пер}) \cdot 163) \oplus 2,00 = \\
 h \uparrow (\text{ППС}) \oplus h \uparrow (\text{ППС}) \cdot 0,917 \oplus h(\text{пер}) \cdot 1,509 \oplus 0,0185 &= \\
 1,917 \cdot h \uparrow (\text{ППС}) \oplus 1,509 \cdot h(\text{пер}) \oplus 0,0185(\text{м}) &. \quad (3)
 \end{aligned}$$

За співвідношенням (3) в подальшому експерименті будуть розраховуватися товщини шарів ППС і перліту. При цьому буде прийматися до уваги, що мінімальна товщина шару ППС, що знаходиться вище рівня бензину повинна бути не менше 2 см.

Досягнути гасіння модельного вогнища пожежі можна за різних співвідношень висот шарів ППС і спученого перліту. Це позначає, що ці параметри гасіння не є незалежними. Тому подальший експеримент буде проводиться наступним чином. Буде фіксуватися загальна висота шару ППС з урахуванням, що висота шару ППС, що знаходиться вище рівня бензину, повинна складати не менше 2 см, і на верхній шар бінарної вогнегасної системи буде подаватися розпилена вода з питомою поверхневою витратою  $2 \text{ кг/м}^2$ . Оціночні витрати перліту будуть обрані з результатів отриманих під час досліджень лабораторного модельного вогнища пожежі малого розміру. На основі чого за формулою (3) буде розрахована загальна висота шару ППС. Далі будуть поступово збільшуватися з інтервалом 1 см загальні висоти шарів ППС і визначатися вогнегасні товщини шарів перліту.

### 5.3. Експериментальне визначення вогнегасних властивостей систем на основі легких сипких матеріалів

Дослідження починались з найменшої загальної висоти шару ППС рівною 7 см, що відповідало шару ППС, який знаходиться вище рівня бензину на 2 см. Початкова висота шару перліту була обрана рівною 1 см. Після подавання 51 г розпиленої води горіння припинилось. При цьому через 5 хвилин повторне займання не відбулося. В разі зменшення висоти шару перліту до 0,8 см за тих самих умов відбувалось повторне займання.

В подальшому в кожному наступному досліді загальну висоту шару ППС збільшували на 1 см, а початкову висоту шару перліту обирали згідно з результатами дослідів на лабораторному модельному вогнищі пожежі. В разі негативного результату досліді в наступному досліді збільшували висоту шару перліту на 0,1 см. В разі позитивного результату в наступному досліді зменшували висоту шару перліту на 0,1 см. Висоти шарів перліту визначалися ваговим методом. В табл. 2 наведено відповідні результати для висот шарів сипких матеріалів і розраховані на їх основі питомі поверхневі витрати сипких матеріалів потрібні для гасіння обраного модельного вогнища пожежі. На рис.1 наведено етапи проведення експерименту з гасіння бензину запропонованої вогнегасної системою.

**Табл. 2. Вогнегасні висоти шарів і масові питомі поверхневі витрати для ППС ( $h(\text{заг})(\text{ППС})$ ,  $m(\text{ППС})$ ) і спученого перліту ( $h(\text{пер})$ ,  $m(\text{пер})$ ) при сумісному використанні разом розпиленою водою ( $m(\text{H}_2\text{O})= 2,0$ )  $\text{кг/м}^2$  та загальна вартість вогнегасних засобів, що при сумісному використанні забезпечують гасіння бензину**

$h(\text{заг})(\text{ППС})$ , см	7	8	9	10	11	12
$m(\text{ППС})$ , $\text{кг/м}^2$	6,7	7,8	8,8	9,8	10,8	11,8
$h(\text{пер})$ , см	1,0	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3
$m(\text{пер})$ , $\text{кг/м}^2$	1,6	1,1	0,8	0,6	0,5	0,5
$C_{\text{заг}}$ , $\text{гр/м}^2$	124,91	129,63	137,12	146,68	158,31	172,01

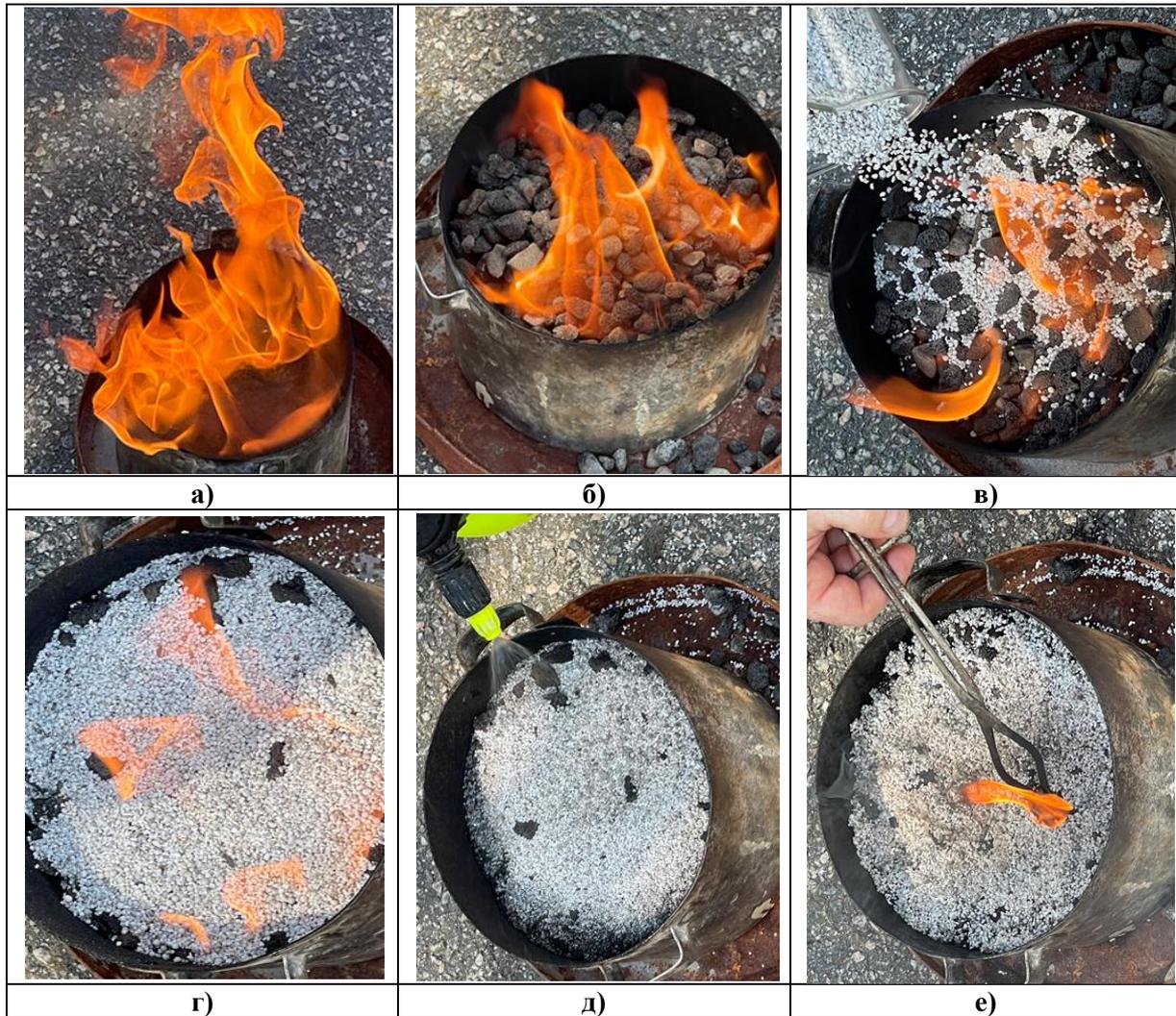


Рис. 1. Етапи гасіння модельного вогнища вогнегасною системою ППС+перліт+вода: а – вільне горіння бензину; б – горіння після засипки ППС; в – засипка перліту; г – горіння з шаром перліту; д – розпилювання води; е – дослід на повторне займання

В табл. 2 наведені вогнегасні висоти шарів сипких матеріалів і відповідні ним масові питомі поверхневі витрати.

#### 5.4. Оптимізація складу вогнегасної системи за параметром ефект – вартість

Важливішою складовою під час вибору вогнегасного засобу є економічний фактор. Розглянемо одну із складових цього фактору – вартість вогнегасних речовин. Для розрахунків були обрані мінімальні оптові ціни відповідних матеріалів в Україні станом на січень 2023 року. Фінансові витрати на воду в зв'язку з невеликим внеском її в загальну вартість вогнегасних речовин не будемо враховувати.

Нижче наведена вартість з розрахунку на 1 кг матеріалу:

- Спучений перліт:  $C_{\text{пер}}=20,7$  грн/кг;
- ППС (скляна пінокрихта, Шостка:  $C_{\text{ППС}}=13,7$  грн/кг.

Фінансові витрати вогнегасного засобу в розрахунку на  $1 \text{ м}^2$  поверхні гасіння, що забезпечує гасіння ( $C_{\text{заг}}$ ), становить:

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{ППС}} \cdot m(\text{ППС}) \oplus C_{\text{пер}} \cdot m(\text{пер}). \quad (4)$$

Отримана за формулою (4) (на основі даних табл. 2) загальна вартість вогнегасних засобів, що при сумісному використанні забезпечують гасіння бензину, занесена останнім рядком табл. 2.

На основі даних останнього рядка табл. 2, використовуючи відповідну процедуру (функцію regress) середовища математичних розрахунків Mathcad, були отримані регресійні залежності загальної вартості вогнегасних засобів ( $C_{\text{заг}}$ ) у вигляді лінійної, квадратичної та кубічної функції від висоти шару ППС ( $h(\text{ППС})$ ). Для кожного варіанту регресійної функції була розрахована залишкова дисперсія.

Проведене з використанням критерію Фішера порівняння залишкових дисперсій показало, що при рівні значимості 1 % квадратичний варіант функції регресії (у порівнянні з лінійним) є значимим, в той час як кубічний (у порівнянні з квадратичним) – не значимим. Таким чином шукана регресійна залежність має вигляд:

$$C_{\text{заг}} = a_0 \oplus a_1 \cdot h(\text{ППС}) \oplus a_2 \cdot h^2(\text{ППС}), \quad (5)$$

де  $a_0=150,755$  грн/м<sup>2</sup>,  $a_1=-11,393$  грн/(м<sup>2</sup>·см),  $a_2=1,098$  грн/(м<sup>2</sup>·см<sup>2</sup>), при цьому загальна товщина шару піноскла ( $h(\text{ППС})$ ) задається в сантиметрах. У цьому наближенні середнє квадратичне відхилення регресійних значень вартості від дослідних становить  $\sigma=0,17$  грн/м<sup>2</sup>.

Графік залежності (5) а також вихідні дослідні точки табл. 2 представлені на рис. 2.

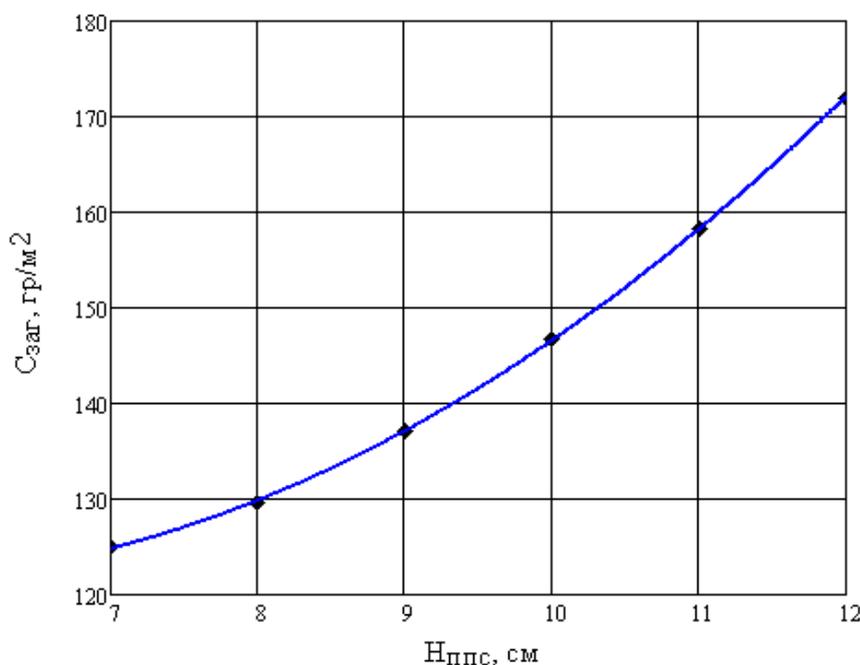


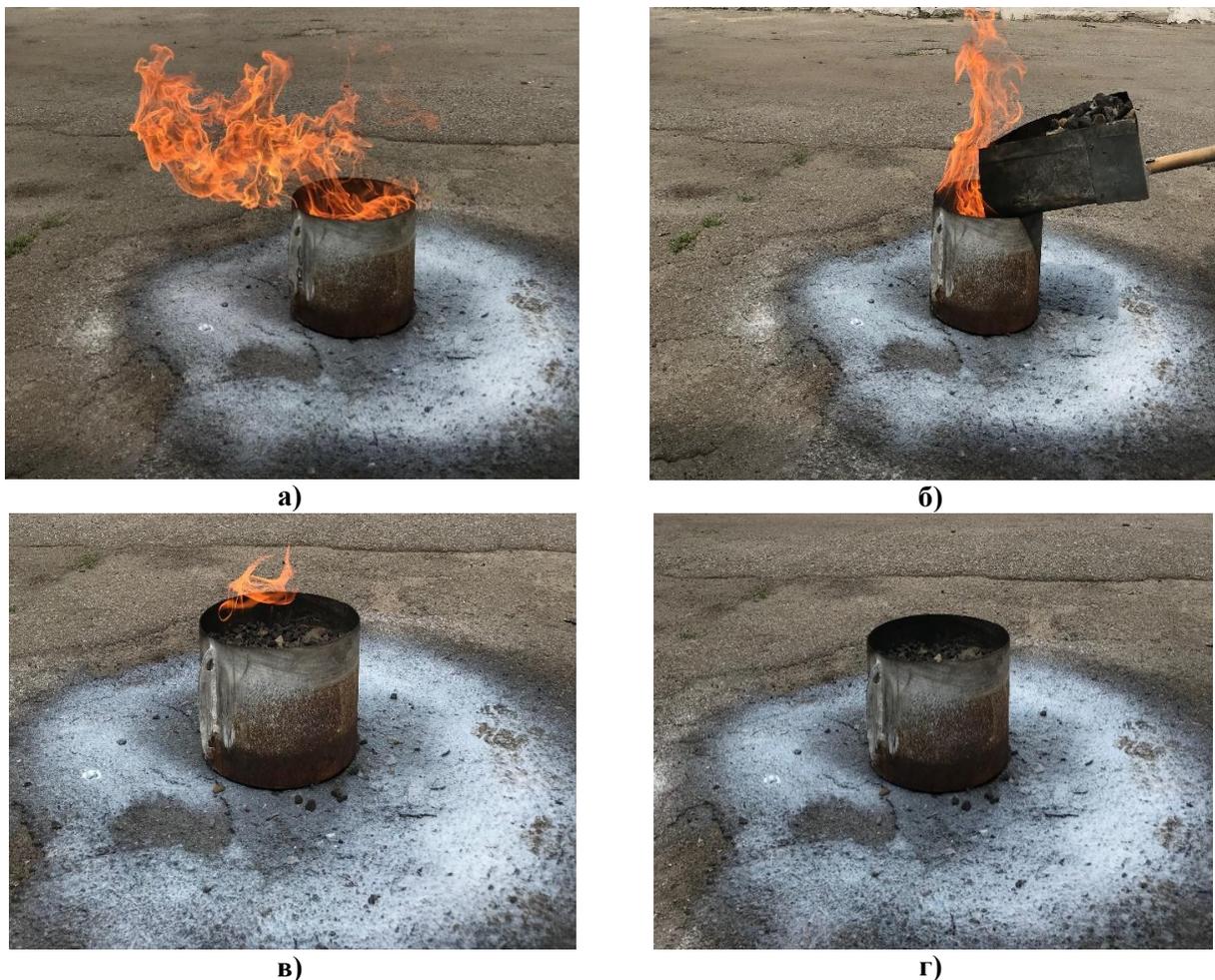
Рис. 2. Дослідні точки ( $\diamond$ ) та регресійна залежність загальної вартості шарів вогнегасних матеріалів від товщини шару піноскла

Всі дані вказують на те, що найбільш економічний варіант гасіння реалізується при граничній (мінімальній) товщині шару піноскла  $H_{\text{ППС}} = 7$  см і висоті шару перліту 1 см. При цьому загальна вартість вогнегасних матеріалів приймає мінімальну величину  $\min(C_{\text{заг}}) \approx 125$  грн/м<sup>2</sup>. Нагадаємо, що зменшення  $\min(C_{\text{заг}})$  внаслідок суттєвого

зменшення  $H_{\text{ППС}}$  неможливе через зростання просипання перліту крізь шар піноскла із зменшенням  $h(\text{ППС})$ .

Для ще більш точного визначення параметрів вогнегасної системи на основі легких сипких матеріалів в роботі було використано стандартне модельне вогнище пожежі «2В» (виконання 2). Його параметри такі: товщина сталевих стінок 2 мм, діаметр дека – 28,8 см, вільна площа поверхні рідини – 650 см<sup>2</sup>, горюча рідина – бензин (АІ-92) – 2 л, об'єм нижнього шару води – 4 л, висота вільного борту після заливання води і бензину – 11,6 см.

Питомі витрати компонентів вогнегасної системи були прийняті такими, які отримані для оптимального складу, отриманому з використанням модельного вогнища пожежі середнього розміру:  $\Phi_{\text{ппс}}=6,7 \text{ кг/м}^2$ ,  $\Phi_{\text{пер}}=1,6 \text{ кг/м}^2$ ,  $\Phi_{\text{вода}}=2 \text{ кг/м}^2$ . Результати дослідження показали, що за прийнятих витрат компонентів досягається гасіння стандартного модельного вогнища пожежі «2В» (рис.3).



**Рис. 3. Етапи гасіння бензину в стандартному модельному вогнищі пожежі «2В»:**  
 а – вільне горіння бензину; б – засипання ППС; в – горіння після засипання перліту; г – припинення горіння після подачі води

Результати дослідження показали, що за прийнятих витрат компонентів досягається гасіння стандартного модельного вогнища пожежі «2В» (рис. 3).

## **6. Обговорення результатів експерименту з гасіння модельного вогнища пожежі**

Візуальні спостереження ходу експерименту вказують на те, що в разі пнев-

матичної подачі спученого перліту на шар ППС більша його частина заповнює порожнини між гранулами у верхній частині шару ППС (рис. 1). Порівняння з подачею на таку поверхню компонентів гелеутворюючих систем вказує на перевагу спученого перліту як заповнювача порожнин між гранулами ППС. У разі формування гелю на поверхні верхнього шару ППС більша частина гелю формується на верхніх поверхнях гранул верхнього шару ППС. Лише невелика частка гелю утворюється на бічних поверхнях гранул і верхній поверхні гранул другого шару гранул ППС [18]. Це приводить до менших масових витрат спученого перліту по зрівнянню з використанням гелевих ізолюючих шарів.

Також аналіз отриманих результатів дозволяє констатувати, що змочування верхнього ізолюючого шару перліту водою призводить до підвищення ізолюючих, охолоджуючих, розбавляючих та вогнегасних властивостей перліту ( $h=1$  см) (табл. 1) по зрівнянню з не змоченим перлітом ( $h=2$  см) [19–20]. Це обумовлено тим, що вода заповнює порожнини між дрібними частинками спученого перліту, випарування її розбавляє пари горючої рідини та охолоджує верхній шар сипкого матеріалу. В цілому можна заключити, що механізм вогнегасної дії системи ППС+перліт+вода такий самий, як у системі ППС+гель, але перша система має перевагу в менших масових витратах вогнегасних речовин.

Результати експерименту підтвердили гіпотезу о підтвердженні чисельних значень питомих масових витрат компонентів вогнегасних систем піноскло + перліт і піноскло + перліт + вода, які отримані на модельних вогнищах пожежі малих розмірів та на стандартному вогнищі пожежі «2В». Це обумовлено однаковим механізмом гасіння бензину на модельних вогнищах пожежі різних розмірів та відсутності суттєвого вкладу впливу умов на границі стінки дека – шар вогнегасних матеріалів. Що в свою чергу пояснюється стійкістю шару вогнегасного засобу на основі легких сипких матеріалів при контакті з розігрітою стінкою дека. Треба відмітити, що в разі гасіння пінами, такі граничні умови помітно впливають на результати гасіння завдяки руйнуванню піни при контакті з розігрітою стінкою.

Розрахунок фінансових витрат на вогнегасні речовини вказує, що не зважаючи на те, що вартість подрібненого піноскла менша ( $C_{\text{пнс}}=13,7$  грн/кг) ніж спученого перліту ( $C_{\text{пер}}=20,7$  грн/кг) його використання в якості верхнього шару дає економічну перевагу (рис. 2). Також економічні розрахунки вказують на менші фінансові витрати на вогнегасні речовини для запропонованої системи ( $125$  грн/м<sup>2</sup>) по зрівнянню з пінними засобами пожежогасіння ( $\sim 1000$  грн/м<sup>2</sup>) і системою ППС+гель ( $250$  грн/м<sup>2</sup>) [18]. Крім того, використання запропонованої системи має перевагу по зрівнянню з використанням гелів в простоті технічної реалізації подачі її компонентів. Для подачі компонентів гелеутворюючої системи потрібно застосування двох окремих технічних засобів для роздільно – одночасної подачі розчинів в розпиленому вигляді. У випадку запропонованої системи для роздільно – послідовної подачі двох сипких матеріалів (ППС і перліту) можна використати один і той засіб подачі. Подачу води можна здійснювати за допомогою існуючих засобів подавання рідин.

Ще однією перевагою запропонованої вогнегасною системи є її більша екологічна безпека. Обидва сипких матеріали, які використовуються в ній нетоксичні, інертні, нерозчинні у воді, термічно стійкі речовини. Після використання їх можна використовувати багаторазово після простих операцій сушіння і просіювання. Це виключає витрати на їх утилізацію.

Проведені експериментальні дослідження були проведені на модельних вог-

нищах пожежі класу «В» середніх розмірів. Однак умови горіння та пожежога-сіння модельного вогнища істотно залежать від його розмірів. Тому, визначені експериментально, на модельних вогнищах середніх розмірів кількісні характери-стики вогнегасної здатності вимагають уточнення на модельних вогнищах вели-ких розмірів. Одночасно перехід на більш великі за розміром модельні вогнища потребує розробки інших засобів подавання вогнегасних речовин.

Одним зі шляхів розвитку вогнегасних засобів на основі легких сипких ма-теріалів є застосування нових видів легких сипких матеріалів, які будуть спеціа-льно призначені для цілей пожежогасіння рідин. У запропонованій роботі сипкі матеріали були обрані з таких, що виробляються в промислових масштабах у на-шій країні. Такі матеріали призначались для різноманітних цілей, вони повністю не враховували вимоги до ефективних засобів пожежогасіння. Одними з важли-віших вимог до вогнегасного засобу на основі сипких матеріалів є висока плаву-чість матеріалу нижнього шару вогнегасної системи і низька щільність матеріалу верхнього шару. Для матеріалу верхнього шару також бажано забезпечити його підвищену вологоємність.

## 7. Висновки

1. Розроблено методику визначення вогнегасних властивостей систем при-значених для гасіння легкозаймистих рідин на основі легких сипких матеріалів з використанням модельних вогнищ пожежі класу «В» більших за розміром ніж ла-бораторне вогнище.

2. З урахуванням того, що вогнегасні висоти шарів подрібненого піноскла і спученого перліту не є незалежними, проведено планування експерименту з ви-значення вогнегасних властивостей систем на основі легких сипких матеріалів. Експериментально визначені висоти шарів і масові поверхневі витрати подрібне-ного піноскла і спученого перліту, які забезпечують гасіння бензину в модельно-му вогнищі пожежі класу «В» за розміром більших ніж лабораторне модельне во-гнище. Додаткове нанесення на верхній шар спученого перліту води дозволить зменшити його вогнегасну висоту шару з двох до 1 см.

3. На основі оптимізації складу вогнегасної системи за параметром ефект – вартість встановлено, що перевагу має система з наступними масовими поверхне-вими витратами: подрібненого піноскла –  $6,7 \text{ кг/м}^2$ , спученого перліту –  $1,6 \text{ кг/м}^2$ , води –  $2,0 \text{ кг/м}^2$ . Експериментально встановлено, що за оптимальних витратах ком-понентів досягається гасіння стандартного модельного вогнища пожежі «2В».

4. Економічні розрахунки вказують на перевагу запропонованої вогнегасної системи порівняно з системою піноскло + гель в 2 рази і піною у 8 разів.

## Література

1. Campbell R. Fires at Outside Storage Tanks. National fire protection association. 2014. URL: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/osflammableorCombustibleLiquidtankStorageFacilities.ashx>

2. Hylton J. G., Stein G. P. U.S. Fire Department Profile. National Fire Protection Association. 2017. URL: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.pdf>

3. Lang X.-q., Liu Q.-z., Gong H. Study of Fire Fighting System to Extinguish Full Surface Fire of Large Scale Floating Roof Tanks. Procedia Engineering. 2011. Vol. 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 surface application to water-immiscible liquids.

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

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

7. Olkowska E., Polkowska Z., Namieśnik J. Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges. *Chem. Rev.* 2011. Vol. 111. № 9. P. 5667–5700. doi: 10.1021/cr100107g

8. Dadashov I., Loboichenko V., Kireev A. Analysis of the ecological characteristics of environment friendly fire fighting chemicals used in extinguishing oil products. *Pollution Research.* 2018. Vol. 37. № 1. P. 63–77. URL: [http://29yjmo6.257.cz/bitstream/123456789/9380/1/Poll%20Res-10\\_proof.pdf](http://29yjmo6.257.cz/bitstream/123456789/9380/1/Poll%20Res-10_proof.pdf)

9. Dubinin D., Korytchenko K., Lisnyak A., Hrytsyna I., Trigub V. Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2017. Vol. 6. № 10–90. P. 11–16. doi: 10.15587/1729-4061.2017.114504

10. Semko A., Beskrovnaya M., Vinogradov S., Hritsina I., Yagudina N. The use of pulsed high-speed liquid jet for putting out gas blow-out. *The International Journal of Multiphysics.* 2015. Vol. 9. № 1. P. 9–20. doi: 10.1260/1750-9548.9.1.9

11. Dubinin D., Korytchenko K., Lisnyak A., Hrytsyna I., Trigub V. Improving the installation for fire extinguishing with finely dispersed water. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies.* 2018. Vol. 2. № 10–92. P. 38–43. doi: 10.15587/1729-4061.2018.127865

12. Vambol S., Bogdanov I., Vambol V., Suchikova Y., Kondratenko O., Hurenko O., Onishchenko S. Research into regularities of pore formation on the surface of semiconductors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2017. Vol. 3. № 5–87. P. 37–44. doi: 10.15587/1729-4061.2017.104039

13. Chernukha A., Teslenko A., Kovaliov P., Bezuglov O. Mathematical modeling of fire-proof efficiency of coatings based on silicate composition. *Materials Science Forum.* 2020. Vol. 1006. MSF. P. 70–75. doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.1006.70

14. Vasilchenko A., Otrosh Yu., Adamenko N., Doronin E., Kovalov A. Feature of fire resistance calculation of steel structures with intumescent coating. *MATEC Web of Conferences.* 2018. Vol. 230. № 02036. doi: 10.1051/mateconf/201823002036

15. Kustov M., Kalugin V., Tutunik V., Tarakhno O. Physicochemical principles of the technology of modified pyrotechnic compositions to reduce the chemical pollution of the atmosphere. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii.* 2019. Vol. 1. P. 92–99. doi: 10.32434/0321-4095-2019-122-1-92-99

16. Pietukhov R., Kireev A., Tregubov D., Hovalenkov S. Experimental Study of the Insulating Properties of a Lightweight Material Based on Fast-Hardening Highly Resistant Foams in Relation to Vapors of Toxic Organic Fluids. *Materials Science*

Forum. 2021. Vol. 1038. P. 374–382. doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.1038.374

17. Мусаев М. Е., Дадашов И. Ф. Разработка единого средства для предотвращения испарения токсичных жидкостей и тушения пожаров класса «В». Академия МЧС Азербайджанской Республики. 2021. Вып. 3–4. С. 117–124. URL: <https://engineeringmechanics.az/uploads/2023/05/8-fhn-akademiya-musayev-meqale-03-11-2021.pdf>

18. Дадашов І. Ф., Кіреєв О. О., Трегубов Д. Г., Тарахно О. В. Гасіння горючих рідин твердими пористими матеріалами та гелеутворюючими системами. Харків, 2021. 240 с.

19. Макаренко В. С., Кіреєв О. О., Трегубов Д. Г., Чиркіна М. А. Дослідження вогнегасних властивостей бінарних шарів легких пористих матеріалів. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2021. Вип. 1(33). С. 235–245. doi: 10.52363/2524-0226-2021-33-18

20. Макаренко В. С., Кіреєв О. О., Слепужніков Є. Д., Чиркіна М. А. Дослідження впливу порошків на вогнегасні характеристики бінарних шарів пористих матеріалів. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2022. Вип. 1(35). С. 297–310. doi: 10.52363/2524-0226-2022-35-22

21. Dadashov I., Kireev A., Kirichenko I., Kovalev A., Sharshanov A. Simulation of the properties two-laermaterial. Functional Materials. 2018. Vol. 25. № 4. P. 774–779. doi: 10.15407/fm25.04.1

22. Бабашов І. Б., Дадашов І. Ф., Кіреєв О. О., Савченко О. В., Мусаєв М. Є. Результати визначення вогнегасних характеристик легких сипких матеріалів при гасінні етанолу. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2023. № 1(37). С. 250–263. doi: 10.52363/2524-0226-2023-37-18

*V. Makarenko, Adjunct*

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

*M. Chyrkina-Kharlamova, PhD, Associate Professor, Deputy Head of the Department*

*N. Minska, DSc, Associate Professor, Associate Professor of the Department*

*A. Sharshanov, DSc, Associate Professor, Senior Lecturer of the Department*

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

## STUDY OF EXTINGUISHING A MODEL FIRE OF CLASS «B» WITH BULK MATERIALS

The costs of components of the fire extinguishing system based on light loose materials for extinguishing a medium-sized class "B" model fire were experimentally determined. According to the results of preliminary studies on extinguishing a model fire of class "B" of small sizes, as components of such a system, granular foam glass with a granule size of 10–15 mm, expanded perlite with a granule size of 1,2±0,2 mm or vermiculite with a plate size of 1×2 mm and sprayed water. Styrofoam in such a system ensures its buoyancy and cooling of the surface layer of the burning liquid. The fine powder of expanded perlite improves the insulating properties of the fire extinguishing system. The water supplied to the upper layer of loose materials, in addition to increasing the insulating and cooling properties of the system, ensured the long-term absence of re-ignition. To increase the economic parameters of the fire extinguishing system, its composition was optimized according to the effect-cost parameter. It was established that the lowest economic costs for extinguishing gasoline are provided by the sequential supply of three components: crushed foam glass, dispersed expanded perlite and sprayed water with such specific surface costs – 6,7 kg/m<sup>2</sup>, 1,6 kg/m<sup>2</sup> and 2,0 kg/m<sup>2</sup> in accordance. For the optimized composition, a study was carried out on extinguishing a standard model fire 2"B", the results of which are close to the results obtained on model fires of small and medium sizes. It is shown that the proposed fire extinguishing system based on light loose materials has advantages in terms of economic and environ-

mental parameters compared to existing and previously proposed means of extinguishing flammable liquids. Means of feeding light loose materials are proposed. The areas of work in the implementation of a fire extinguishing system based on light loose materials in the practice of fire extinguishing have been noted.

**Keywords:** flammable liquids, gasoline, fire-extinguishing properties, expanded perlite, crushed foam glass, composition optimization

## References

1. Campbell, R. (2014). Fires at Outside Storage Tanks. National fire protection association. <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/osflammableorCombustibleLiquidtankStorageFacilities.ashx>
2. Hylton, J. G., Stein, G. P. (2017). U.S. Fire Department Profile. National Fire Protection Association Association. <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.pdf>
3. Lang, X.-q., Liu, Q.-z., Gong, H. (2011). Study of Fire Fighting System to Extinguish Full Surface Fire of Large Scale Floating Roof Tanks. *Procedia Engineering*, 11, 189–195. <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. Code, P. (2018). Fire extinguishing media. Foam concentrates – Part 2: Specification for high expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids. European committee for standardization.
6. Code, P. (2018). Fire extinguishing media. Foam concentrates – Part 3: Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids. European committee for standardization.
7. Olkowska, E., Polkowska, Z., Namieśnik, J. (2011). Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges. *Chem. Rev*, 111(9), 5667–5700. doi: 10.1021/cr100107g
8. Dadashov, I., Loboichenko, V., Kireev, A. (2018). Analysis of the ecological characteristics of environment friendly fire fighting chemicals used in extinguishing oil products. *Pollution Research*, 37(1), 63–77. [http://29yjmo6.257.cz/bitstream/123456789/9380/1/Poll%20Res-10\\_proof.pdf](http://29yjmo6.257.cz/bitstream/123456789/9380/1/Poll%20Res-10_proof.pdf)
9. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2017). Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(10 (90)), 11–16. doi: 10.15587/1729-4061.2017.114504
10. Semko, A., Rusanova, O., Kazak, O., Beskrovnaya, M., Vinogradov, S., Gricina, I. (2015). The use of pulsed high-speed liquid jet for putting out gas blow-out. *The International Journal of Multiphysics*, 9(1), 9–20. doi: 10.1260/1750-9548.9.1.9
11. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2018). Improving the installation for fire extinguishing with finely dispersed water. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10 (92)), 38–43. doi: 10.15587/1729-4061.2018.127865
12. Vambol, S., Bogdanov, I., Vambol, V., Suchikova, Y., Kondratenko, O.,

Hurenko, O., Onishchenko, S. (2017). Research into regularities of pore formation on the surface of semiconductors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(5(87)), 37–44. doi: 10.15587/1729-4061.2017.104039

13. Chernukha, A., Teslenko, A., Kovalov, 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

14. Vasilchenko, A., Otrosh, Y., Adamenko, N., Doronin, E., Kovalov, A. (2018). Feature of fire resistance calculation of steel structures with intumescent coating. *MATEC Web of Conferences*, 230, 02036. doi: 10.1051/mateconf/201823002036

15. Kustov, M., Kalugin, V., Tutunik, V., Tarakhno, O. (2019). Physicochemical principles of the technology of modified pyrotechnic compositions to reduce the chemical pollution of the atmosphere. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, (1), 92–99. doi: 10.32434/0321-4095-2019-122-1-92-99

16. Pietukhov, R., Kireev, A., Tregubov, D., Hovalenkov, S. (2021). Experimental Study of the Insulating Properties of a Lightweight Material Based on Fast-Hardening Highly Resistant Foams in Relation to Vapors of Toxic Organic Fluids. *Materials Science Forum*, 1038, 374–382. doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.1038.374

17. Musayev, M. Ye., Dadashov, I. F. (2021). Razrabotka yedinogo sredstva dlya predotvrashcheniya isparennya toksichnykh zhidkostey i tusheniya pozharov klassa «B». Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Azerbaijan Republic. Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Azerbaijan Republic. (3–4), 117–124. <https://engineeringmechanics.az/uploads/2023/05/8-fhn-akademiya-musayev-meqale-03-11-2021.pdf>

18. Dadashov, I. F., Kiryeyev, O. O., Trehubov, D. H., Tarakhno, O. V. (2021). Hasinnya horyuchykh ridyn tverdymy porystymy materialamy ta helevtoryuyuchymy systemamy. Kharkiv. NUCPU.

19. Makarenko, V. S., Kiryeyev, O. O., Tregubov, D. G., Chyrkina, M. A. (2021). Doslidzhennya vohnehasnykh vlastyovostey binarnykh shariv lehkykh porystykh materialiv. *Problemy nadzvychnykh sytuatsiy*, 1(33), 235–245. doi: 10.52363/2524-0226-2021-33-18

20. Makarenko, V., Kireev, O., Slepuzhnikov, E., Chyrkina, M. (2022). Doslidzhennya vplyvu poroshkivna vohnehasni kharakterystyky binarnykh sharivporyst ykh materialiv. *Problems of Emergency Situations*, 1(35), 297–310. doi: 10.52363/2524-0226-2022-35-22

21. Dadashov, I., Kireev, A., Kirichenko, I., Kovalev, A., Sharshanov, A. (2018). Simulation of the properties two-laermaterial. *Functional Materials*, (25, 4), 774–779. doi: 10.15407/fm25.04.1

22. Babashov, I. B., Dadashov, I. F., Kireev, O., Savchenko, A., Musayev, M. E. (2023). Rezul'taty vyznachennya vohnehasnykh kharakterystyk lehkykh sypkykh materialiv pry hasinni etanolu. *Problems of Emergency Situations*, (37), 250–263. doi: 10.52363/2524-0226-2023-37-18

Надійшла до редколегії: 18.09.2023

Прийнята до друку: 14.11.2023