

УДК 614.84

*І. Б. Бабашов¹, проректор (ORCID0000-0002-3294-1767)**І. Ф. Дадашов¹, д.т.н., нач. фак. (ORCID 0000-0002-1533-1094)**О. О. Кірєєв², д.т.н., професор, проф. каф. (ORCID 0000-0002-8819-3999)**О. В. Савченко², к.т.н., с.н.с., заст. нач. каф. (ORCID 0000-0002-1305-7415)*¹Академія Міністерства з надзвичайних ситуацій Азербайджанської Республіки, Баку, Азербайджан²Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ВИБІР СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЛЯРНИХ ЛЕГКОЗАЙМИСТИХ РІДИН

Продовжено дослідження раніше запропонованого методу гасіння полярних рідин за допомогою вогнегасних засобів на основі легких сипких пористих матеріалів. Проведено аналіз характеристик (адсорбційні властивості по відношенню до пари етанолу, ефект інгібування горіння) та вибір сипких матеріалів для гасіння легкозайmistих полярних рідин. Експериментально визначено насипну щільність, вологостійкість і плавучість в етанолі ряду обраних сипких матеріалів з різними домінуючими механізмами припинення горіння та різними розмірами та формами гранул. Встановлено, що забезпечити найбільшу плавучість двошарової вогнегасної системи можна за допомогою піноскла з розмірами гранул (10–15), (15–25) та (25–35) мм. Проаналізовано вплив характеристики сипких матеріалів, на їх вогнегасні властивості: насипна щільність, плавучість, водоутримання, здатність заповнювати порожнечі нижнього шару та просипатися крізь цей шар. На підставі визначення здатності просипатися крізь шар гранульованого піноскла встановлено, що найменше просипання забезпечує нижній шар піноскла з розміром гранул (10–15) мм. Такий шар піноскла забезпечує відсутність просипання вермікуліту і всіх сипких матеріалів з інгібуючим ефектом у разі, якщо розмір їх гранул перевищує 2,5 мм. Визначено, що найкращі адсорбційні властивості по відношенню до пари етанолу виявляє силікагель – 5,3 мас. %. Зроблено висновок, що для подальшого вивчення вогнегасних властивостей двошарової вогнегасної системи, призначеної для гасіння легкозайmistих полярних рідин в якості матеріалу, що забезпечує плавучість, доцільно обрати піноскло з розміром гранул (10–15) мм. Для верхнього шару доцільно випробувати всі речовини, які можуть інгібувати процесу горіння, а також цеоліти, гранульований силікагель, піноскло з розміром гранул (5–10) мм, спучений перліт з гранулами діаметром (1–1,5) мм, та два різновиди спученого вермікуліту.

Ключові слова: гасіння рідин, полярні легкозайmistі рідини, етанол, сипкі матеріали, піноскло, адсорбенти, інгібітори горіння

1. Вступ

Пожежі за участю горючих рідин класифікуються як пожежі класу «В». Найбільш складними об'єктами для гасіння таких пожеж є резервуари з легкозайmistими полярними рідинами (ПР). До полярних відносять рідини, які добре розчиняються у воді. У нормативних документах більшості країн вогнегасні піни вказуються як основний засіб гасіння горючих (ГР) і легкозайmistих рідин (ЛЗР) [1–6]. Для гасіння ПР непридатні повітряно-механічні піни, що отримуються з піноутворювачів (ПУ) загального призначення та більшої частини ПУ спеціального призначення. Вони швидко руйнуються при контакті з ПР.

Для гасіння ПР були спеціально розроблені піни на основі спиртостійких піноутворювачів маркування «AR» («alcoholresistant») або «ATC» («alcoholtypeconcentrate»). Такі ПУ є різновидом фторованих ПУ, що містять водорозчинні полімери. При контакті з ПР піни, отримані зі спиртостійких ПУ, утворюють на їх поверхні суцільний шар полімерної плівки. Плівка, що утворилася, виявляє ізолюючі властивості по відношенню до пари ГР і ЛЗР. Однак, у зв'язку з тим, що плівка має густину більшу, ніж більшість ПР, вона з часом тоне.

Крім того, плівка, що утворюється, руйнується під дією інтенсивних теплових потоків від полум'я палаючої рідини. Також для спиртостійких пін характерний ряд загальних недоліків звичайних пін: вони легко відносяться висхідними конвективними потоками від полум'я рідин, їх важко подати на великі відстані, вони містять у своєму складі екологічно небезпечні речовини [7–10], мають низькі економічні параметри. Також ПР неможливо використовувати після їх гасіння пінами внаслідок забруднення. Крім того, відзначаються невисокі вогнегасні характеристики спиртостійких пін при гасінні більшості полярних рідин [11].

Таким чином, можна зробити висновок о наявності суттєвих недоліків у існуючих засобах пожежогасіння легкозаймистих полярних рідин. Це вимагає розробки більш ефективніших, ніж вже існуючі засоби їх гасіння.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У разі ПР з температурою спалаху в закритому тиглі більше 61 °С, не існує особливої потреби використовувати бінарні шари сипких матеріалів для їх гасіння, тому що вони легко гасяться з використанням тільки ПС. Зменшення кількості сипкого матеріалу, потрібного для гасіння ГР, не компенсує ускладнення технології при використанні двох різних сипких матеріалів. Тому, дане та подальші дослідження будуть зосереджені тільки на полярних ЛЗР з температурою спалаху нижче за 61 °С.

Розрізняють чотири основні механізми припинення горіння стосовно рідин: охолодження зони горіння або поверхні рідини, розведення пари рідини в зоні горіння, ізоляція поверхні рідини від зони горіння, інгібування хімічної реакції окиснення в зоні горіння. Крім того, можна забезпечити припинення горіння рідин, створивши умови, коли полум'я проходить крізь вузькі канали (ефект вогнеперешкоджувача). Останній механізм при гасінні рідин можна реалізувати за допомогою сіток. Найкращих результатів можна досягти шляхом розробки вогнегасних засобів, у яких максимально реалізуються всі основні механізми припинення горіння. Проте досягти максимального вкладу всіх механізмів припинення горіння практично неможливо.

Як альтернативу використанню повітряно-механічних пін для гасіння ПР було запропоновано використовувати вогнегасні системи на основі подрібненого піноскла (ПС) [12]. У роботі встановлено, що маса подрібненого ПС, потрібного для гасіння водорозчинних спиртів, більш ніж у 10 разів менша за масу спиртостійкої піни необхідної для цієї ж мети. Показано економічні переваги гасіння спиртів ПС порівняно з гасінням спиртостійкими пінами. Також було встановлено, що спирти, що містять понад чотири атоми вуглецю, можна гасити пінами на основі піноутворювачів загального призначення.

У роботі [13] було встановлено, що ряд легких сипких матеріалів забезпечує більш високі ізолюючі властивості по відношенню до пари бензину в порівнянні з ПС. На підставі цього було запропоновано для гасіння ЛЗР вуглеводневої природи використовувати бінарні шари ПС плюс пористий матеріал з підвищеними ізолюючими властивостями. В якості сипких матеріалів з більшим, ніж у ПС ізолюючими властивостями, були обрані спучені перліт і вермикуліт. Попередні досліди показали, що ця закономірність виконується і для легкозаймистих ПР.

Для гасіння рідин за рахунок ефекту охолодження їх поверхневий шар потрібно охолодити до температури нижче за температуру спалаху. При гасінні бі-

льшості полярних ЛЗР в реальних умовах важко охолодити до таких температур поверхню рідини, що горить [12]. Проте охолодження ЛЗР робить істотний внесок у вогнегасні характеристики засобів гасіння пожеж класу «В» в разі використання для цих цілей сипких матеріалів.

Для підвищення охолоджувальних властивостей сипких матеріалів у роботах [12, 13] було запропоновано використовувати змочені сипкі матеріали. Це призвело до збільшення вогнегасних властивостей сипких матеріалів, особливо в разі гасіння ГР. Змочування сипких матеріалів одночасно з підвищенням охолоджувальних властивостей призвело до залучення ефекту розведення парів горючих рідин парами води.

Також, у розглянутих вище роботах недостатньо уваги приділено впливу розміру та форми гранул сипкого матеріалу на ізолюючі властивості. У разі меншого розміру гранул верхнього шару сипкого матеріалу (порівняно з нижнім) може відбуватися заповнення порожнин у верхній частині шару ПС дрібнішими гранулами верхнього ізолюючого шару.

Це може призвести до підвищення ізолюючих властивостей двошарового матеріалу, оскільки зменшення обсягу порожнин призводить до зменшення ефективного коефіцієнта дифузії пари крізь пористий шар [14].

У всіх роботах, присвячених гасінню пожеж класу «В» з використанням сипких матеріалів, не розглядався ефект інгібування хімічних реакцій окиснення в зоні горіння. Інгібування є одним із найважливіших механізмів припинення горіння. Тому, існує необхідність розгляду застосування сипких інгібіторів горіння в якості матеріалу верхнього шару бінарної вогнегасної системи, призначеної для гасіння полярних ЛЗР.

Таким чином, можна зробити висновок про необхідність розробки ефективного вогнегасного засобу для гасіння полярних рідин, в якому реалізуються всі основні механізми вогнегасної дії. Невирішеною частиною проблеми розробки такого засобу є включення до складу двошарової вогнегасної системи речовин, які забезпечать інгібуючий ефект.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є дослідження сипких матеріалів для двошарової вогнегасної системи з комбінованою вогнегасною дією, з суттєвим внеском інгібуючого ефекту та визначення характеристик таких матеріалів.

Для цього необхідно вирішити такі завдання:

- обрати сипкий матеріал для верхнього шару бінарної вогнегасної системи, які забезпечать поряд з ефектами ізоляції, охолодження і розведення суттєвий внесок ефекту інгібування;
- експериментально визначити насипну густину, вологоутримання і плавучість в етанолі обраних сипких матеріалів;
- визначити вплив розмірів та форми гранул різних сипких матеріалів на здатність заповнювати порожнечі нижнього шару піноскла та просипатися крізь цей шар;
- оцінити адсорбційні властивості низки сипких матеріалів по відношенню до пари етанолу;
- вибрати системи на основі сипких матеріалів для подальшого вивчення їх вогнегасних властивостей при гасінні легкозаймистих полярних рідин.

4. Результати дослідження характеристик сипких матеріалів та вогнегасних систем

4.1. Вибір сипкого матеріалу для верхнього шару бінарної вогнегасної системи

Перед початком досліджень, з метою визначення найбільш поширеної полярної ЛЗР, було проведено аналіз, який дозволив визначити речовину для проведення експериментальних досліджень. Відомо, що до полярних ЛЗР відносяться ряд одноатомних спиртів (метанол, етанол, пропанол, бутанол та пентанол); кетони (ацетон, метилетилкетон), початкові члени гомологічних рядів альдегідів, простих та складних ефірів, а також ряд карбонових кислот, амінів та нітросполук. Також, до полярних рідин відносяться бензини з додаванням спиртів – бензоетаноли. Виробництво полярних ЛЗР швидко зростає. Виробництво ПГР становить десятки мільйонів кубічних метрів, а метанолу та етанолу перевищує 100 мільйонів кубічних метрів. Найбільш широко поширеною полярною рідиною є етанол. Його виробництво у 2018 році перевищило $100 \cdot 10^6 \text{ м}^3$. У літературних джерелах є інформація про велику кількість пожеж, пов'язаних з горінням етанолу та труднощами його гасіння [11, 15–16].

Етанол (етилловий спирт) – раціональна формула $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--OH}$, другий член гомологічного ряду одноатомних спиртів. За звичайних умов легкозаймиста безбарвна рідина з характерним спиртовим запахом. Найбільші кількості етанолу використовуються у хімічній промисловості. Широко застосовується як розчинник, а також у виробництві товарів побутової хімії, у медицині та харчовій промисловості. Великі кількості етанолу використовують у виробництві алкогольних напоїв. Етанол та його суміші використовуються як паливо та компоненти палива (бензоетанол).

Розрізняють абсолютний етанол (концентрація близька до 100 %) та спирт ректифікат, що містить 4,4 % води. Найбільш поширеним товарним продуктом є спирт – ректифікат. У разі наявності великої кількості етанолу його зберігають у сталевих вертикальних циліндричних резервуарах із стаціонарним дахом місткістю до 20000 м^3 [4, 5]. Саме гасіння пожеж етанолу в резервуарах великої місткості є одним із найскладніших завдань пожежно-рятувальних підрозділів. В даній роботі використовується етанол із концентрацією 95,5 %.

Раніше в якості легкого сипкого матеріалу для забезпечення плавучості вогнегасної системи було обґрунтовано застосування подрібненого ПС. У роботі [17] було сформульовано основні вимоги до матеріалів, що забезпечують високі ізолюючі властивості. Обов'язковими вимогами до таких матеріалів є їхня негорючість та термічна стійкість. Важливою вимогою до сипких матеріалів ізолюючого шару є їхня велика щільність пакування в умовах вільного засипання на поверхню шару ПС. Збільшення щільності пакування призводить до зменшення частки порожнин між гранулами і, відповідно, до збільшення ізолюючих властивостей верхнього шару гранульованого матеріалу. В якості сипких матеріалів обирались такі, які виробляються в промислових масштабах.

У попередніх дослідженнях було встановлено, що великі гранули не забезпечують високі ізолюючі властивості (за іншими рівними умовами). Крім того, бажано, щоб гранули ізолюючого шару могли заповнювати порожнини верхнього шару ПС. Це призводить до загального зменшення частки порожнин у бінарному шарі. Остання умова виконується у разі, якщо гранули верхнього шару мають менші розміри, порівняно з гранулами ПС. З матеріалів, запропонованих раніше,

цим вимогам відповідають спучений перліт з гранулами сферичної форми діаметром (1–1,5) мм, спучений лускатий вермикуліт з лінійними розмірами лусочок 1×2 мм та 2×5 мм та порожнисті скляні мікросфери (діаметр 0,05–0,08 мм) [19].

Крім механізму ізоляції, при гасінні ГР свій внесок у вогнегасні властивості можуть зробити ефекти охолодження, розведення (флегматизації) та інгібування процесів горіння. Найбільший ефект охолодження може забезпечити й введення до складу вогнегасної системи води. Вода є речовиною з аномально високою охолоджуючою дією. Вона може бути внесена до складу вогнегасної системи шляхом змочування гранульованого матеріалу. Крім того, воду можна внести до складу вогнегасної системи шляхом використання речовин, що містять у своєму складі слабкозв'язані молекули води. В якості таких речовин можна використовувати кристалогідрати і речовини, що містять адсорбовану воду.

Наявність води в вогнегасному засобі на основі сипких матеріалів поряд з охолоджуючою дією буде проявляти і ефект розведення завдяки пари води, що утворюються в результаті теплового впливу полум'я від полярної рідини, що горить. Також ефект розведення може бути забезпечений за рахунок речовин, що адсорбують пари горючих рідин. Для реалізації інгібуючого ефекту необхідно до складу сипкого матеріалу ввести інгібітори горіння або використовувати тверді інгібітори горіння в гранульованому вигляді, у вигляді порошку або водного розчину. З існуючих інгібіторів горіння з екологічних міркувань доцільно застосувати гранульовані амофос та амофоску (входять до складу вогнегасних порошків Пірант-А, П-2АПМ, П-ФКНС-2, Вексон-АВС, П-ФКНС-2, Фенікс АВС, ПГХК «Завіса»), а також порошок гідрокарбонату натрію (основа вогнегасних порошків ПСБ-3М, П-ФКНС-2, Вексон-ВС).

Також, в якості сипкого матеріалу доцільно випробувати порошкоподібний тальк, силікагель і цеоліти, які володіють високими адсорбційними властивостями. Крім того, потрібно відзначити, що перевага буде віддана сипким матеріалам з найменшою насипною щільністю. Такі матеріали, при інших рівних параметрах, вимагають меншу товщину шару, що забезпечує плавучість вогнегасної системи. На початковому етапі досліджень урахування економічного фактору полягає у тому, що до розгляду сипкого матеріалу верхнього шару вогнегасної системи прийнято матеріали, що випускаються у державах пострадянського простору у промислових масштабах. В разі використання сипких матеріалів з різними розмірами і формами гранул виникає ряд питань, пов'язаних з плавучістю двошарової системи, можливістю заповнення порожнин між гранулами сипкого матеріалу, можливістю просипання дрібнодисперсних матеріалів крізь нижній шар ПС та вологоутримання сипкого матеріалу.

У попередніх роботах [12–13] був обґрунтований вибір матеріалу нижнього шару, що забезпечує плавучість вогнегасної системи подрібненого ПС з розміром гранул (1,0–1,5 см). У роботі, що пропонується розширено інтервал розмірів гранул ПС: (0,5–1,0) см, (1,0–1,5) см, (1,5–2,5) см та (2,5–3,5) см. У зв'язку з низькою плавучістю дрібних гранул ПС для нижнього шару були використані гранули лише трьох розмірів (1,0–1,5) см, (1,5–2,5) см і (2,5–3,5) см. Але для верхнього шару будить розглянуті всі чотири фракції ПС.

Таким чином, для верхнього шару необхідно визначити властивості шарів ПС, що утворені гранулами всіх чотирьох розмірів, а також інших сипких матеріалів з високими ізолюючими, інгібуючими та адсорбційними властивостями. В якості сипких матеріалів з високими ізолюючими властивостями обрані спучений

перліт, спучений вермикуліт з пластинками двох розмірів 1×2 мм і 2×5 мм, скляні порожнисті мікросфери діаметром 0,05-0,08 мм. Крім того, в якості матеріалів верхнього шару розглянуті речовини здатні адсорбувати пари етанолу – мелений тальк, гранульовані цеоліти та силікагель. Також потрібно визначити властивості матеріалів, що забезпечують інгібування процесу горіння: натрій гідрокарбонат, хлориди та гідрофосфати калію, натрію та амонію, амофос, амофоску, вуглеамонійну сіль, карбонат калію.

Нижче наведено деякі властивості вибраних матеріалів.

Піноскло є застиглою спіненою скломасою. Температура розм'якшення не нижче 450°C . Піноскло - негорючий хімічно інертний матеріал. В роботі використовується подрібнене піноскло, яке отримують з бракованих піноскляних блоків, призначених для утеплення приміщень. Його гранули мають неправильну форму та розміри від 1 см до 10 см. Особливістю подрібненого піноскла є наявність відкритих пор у зовнішньому шарі та закритих пор у внутрішніх шарах. Це одночасно забезпечує його плавучість і суттєве водоутримання. Насипна щільність його змінюється у межах від 60 до 400 кг/м^3 , що вимагає експериментального визначення цієї характеристики для кожної партії матеріалу.

Спучений перліт – легкий, сипкий, вогнестійкий, екологічно безпечний матеріал. Насипна щільність спученого перліту $140\text{--}190 \text{ кг/м}^3$. У даній роботі використовувався спучений перліт із гранулами, близькими до сферичної форми, діаметром (1,0–1,5) мм.

Спучений вермикуліт являє собою найтонші лусочки, які вільно плавають на поверхні води. Насипна щільність спученого вермикуліту $65\text{--}290 \text{ кг/м}^3$, температура плавлення 1350°C . Спучений вермикуліт – хімічно інертний вогнестійкий екологічно безпечний матеріал. Його коефіцієнт водопоглинання становить 400-530 %. У цій роботі використовувався спучений пластинчастий вермикуліт з лінійними розмірами пластинок 1×2 мм (вермикуліт 1) та 2×5 мм (вермикуліт 2).

Пустотілі скляні мікросфери [18] є легкоскипким порошком, що складається з пустотілих скляних частинок сферичної форми. Діаметр сфер варіює від 10 до 500 мкм, товщина стінок варіює: 2–10 мкм. Насипна щільність змінюється в інтервалі $80\text{--}700 \text{ кг/м}^3$, термостійкість може досягати 1000°C . У роботі було використано мікросфери діаметром 0,05–0,08 мм.

Для ізолюючого шару доцільно вибрати ряд матеріалів з високими адсорбційними властивостями до пари полярних рідин. До них відноситься мелений тальк, гранульовані цеоліти і силікагель.

Мелений тальк (тальковий порошок) (діаметр менше 0,01 мм) – сипкий порошок, що має середню хімічну та термічну стійкість, виявляє високі адсорбційні властивості по відношенню до полярних речовин. Належить до 4-го класу хімічної небезпеки, використовується як компонент косметичних пудр, дитячих присипок, зубних порошоків та харчової добавки (E553b).

Гранульовані цеоліти природні або синтетичні матеріали підкласу каркасних силікатів здатні оборотно адсорбувати різні речовини. Ці властивості цеолітів дозволяють використовувати їх з метою адсорбції багаторазово. У роботі були використані гранульовані цеоліти з розміром гранул (3–6) мм.

Силікагель – висушений гель, що утворюється із перенасичених розчинів кремнієвих кислот. Силікагель здатен поглинати органічні полярні речовини. Силікагель пожежонебезпечний, відноситься до речовин 3-го класу небезпеки. Товарний силікагель випускають у вигляді сферичних гранул розміром від 5–7 до

10^{-2} мм. У роботі був використаний силікагель з діаметром гранул 1-2,5 мм. В якості сипких матеріалів для верхнього шару перспективне застосування матеріалів, що забезпечують інгібування процесу горіння. Для цього доцільно використовувати основні компоненти вогнегасних порошків: натрій гідрокарбонат (основний компонент вогнегасних порошків: ПСБ-3, ПСБ-3М, П-ФКЧС-2, Вексон-ВС), хлорид калію (ПХК, ПГХК «Завіса»), фосфати амонію (ПІРАНТ, П-2АПМ, Вексон-АВС), амофосу (П-АТС, ІСТО, Фенікс-АВС, ПО-ПТН). Крім того, інгібуючі властивості можуть виявити ще ряд речовин: натрій хлорид, гідрофосфати натрію і калію, карбонат і гідрокарбонат амонію (вуглеамонійна сіль), калію карбонат.

4.2. Визначення насипної густини, вологоутримання і плавучості обраних сипких матеріалів

У разі полідисперсності сипких матеріалів їх поділ по фракціях проводили просіюванням вихідного матеріалу через набір сит, з відповідними розмірами комірок шляхом їх струшування протягом двох хвилин. Насипна щільність визначалася засипанням гранул сипкого матеріалу у скляну ємність до рівня, відповідного об'єму 250 см^3 з наступним зважуванням.

Більшість солей-інгібіторів являли собою дисперсні порошки з розміром кристаліків 0,1-0,6 мм. Дигідрофосфат калію ($\text{K}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$) був у вигляді голчастих кристалів. Мінеральні добрива, які містять інгібітори, використовувались у гранульованому вигляді з розміром гранул від 2 до 6 мм, крім вуглеамонійної солі, розміри частинок якої були менш 0,1 мм.

Вологоутримання визначалось тільки для сипких матеріалів, які не розчиняються у воді. Для визначення вологоутримання, за умов наближених до реальної подачі їх у вогнище пожежі, розробили таку процедуру. Зважену порцію сипкого матеріалу заливали водою і притискали до занурення вантажем. Через одну хвилину його висипали на сітку і давали стікати воді струшуючи 1 хвилину.

Після цього змочений матеріал знову зважувався. Вологоутримання (B) розраховувалося за співвідношенням:

$$B = m_{\text{H}_2\text{O}} / (m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{C}}), \quad (1)$$

де $m_{\text{H}_2\text{O}}$ – маса води, m_{C} – маса сухого сипкого матеріалу.

В якості кількісної характеристики плавучості (Π) сипких матеріалів було обрано відношення висоти шару сипкого матеріалу, який знаходиться над рівнем рідини ($h \uparrow$) до загальної висоти шару сипкого матеріалу (h):

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

де $h \downarrow$ – висота шару сипкого матеріалу, який занурено нижче рівня рідини.

Знання плавучості та загальної товщини шару дозволяє розрахувати товщину шару сипкого матеріалу вище та нижче рівня рідини:

$$h \uparrow = h \cdot \Pi, \quad (3)$$

$$h \downarrow = h \cdot (1 - \Pi). \quad (4)$$

Для визначення плавучості сипкого матеріалу у мірну склянку об'ємом 2 л заливали 1 л етанолу, далі рівномірно засипали 1 л сипкого матеріалу. Висоти шарів сипкого матеріалу, зануреного в етанол і шару, що знаходиться вище рівня рідини, визначали візуальним методом за допомогою мірної лінійки.

4.3. Визначення впливу розмірів та форми гранул на заповнення нижнього шару

Здатність заповнювати порожнечі нижнього шару ПС сипким матеріалом верхнього шару і долю сипкого матеріалу, що просипався крізь нижній шар, визначали наступним чином. Матеріал нижнього шару завтовшки 4 см наносився на сітку з розміром чарунок 1 см. Далі на поверхню нижнього шару засипався заздалегідь зважену кількість матеріалу верхнього шару. Маса матеріалу верхнього (m_1) шару підбиралася таким чином, щоб при його насипанні на горизонтальну поверхню такої ж площі, як нижній шар, утворювався шар товщиною 1 см. Після чого маса сипкого матеріалу верхнього шару, що просипався крізь нижній шар, зважувалась (m_2). Частка матеріалу, що просипався ($ПП$), розраховувалась за співвідношенням:

$$ПП = \frac{m_2}{m_1}. \quad (5)$$

Одночасно з визначенням частки матеріалу, що просипався крізь нижній шар, в цьому досліді візуально якісно визначалася здатність заповнювати порожнечі нижнього шару (3) ((+) – висока, (\pm) – помірна, (-) – низька). У зв'язку з тим, що ПС-1 з розміром гранул (5–10) мм мало низьку плавучість, частка матеріалу, що просипався крізь нижній шар, визначалась тільки для ПС з розмірами гранул (10–15) мм, (15–25) мм і (25–35) мм (ПС-2, ПС-3 та ПС-4).

4.4. Адсорбційні властивості обраних сипких матеріалів по відношенню до пари етанолу

Адсорбційні властивості оцінювалися тільки для тальку, цеоліту та силікагелю ваговим методом. Для цього 20 г адсорбенту рівномірно засипалися в контейнер без кришки, виготовлений із тонкої сіточки. Після цього контейнер підвішувався над поверхнею етанолу, залитого в циліндричну ємність на 1 годину. Потім адсорбент зважувався і за різницею мас визначалась маса етанолу, поглиненого адсорбентом. Кількісно адсорбційні властивості (A) розраховувалися як відношення маси поглиненого етанолу (m_e) до маси адсорбенту (m_a):

$$A = \frac{m_e}{m_a}. \quad (6)$$

Визначення маси здійснювалися за допомогою ваг безперервного зважування ТНВ-600, що забезпечувало точність вимірювання $\pm 0,01$ г. Усі експериментальні роботи проводилися за температури (21 ± 2) °С.

Визначення системи на основі сипких матеріалів для подальшого вивчення їх вогнегасних властивостей при гасінні легкозаймистих полярних рідин, спиралось на отриманні експериментальні результати.

4.5. Результати дослідження характеристик сипких матеріалів для гасіння полярних легкозаймистих рідин

У табл. 1 наведено експериментально отримані дані для вибраних сипких матеріалів.

Табл. 1. Розмір гранул (*l*), плавучість в етанолі (*П*), насипна щільність (*ρ*), вологоутримання (*В*), здатність заповнювати порожнечі нижнього шару (*З*), частка матеріалу, що просипалась крізь нижній шар піноскла (*ПР*) для різних сипких матеріалів

Матеріал	<i>l</i> , мм	П, %	ρ, кг/м ³	В, %	З / ПР, %		
					ПС-2	ПС-3	ПС-4
піноскло							
ПС-1	5–10	29	118	37	±/0	±/0	+/2
ПС-2	10–15	47	104	34	–	±/0	+/0
ПС-3	15–25	50	96	30	–/0	–	±/0
ПС-4	25–35	52	89	28	–/0	–/0	–
легкі матеріали							
перліт	1–1,5	26	164	48	±/5	±/38	+/76
вермикуліт1	1×2	9	286	48	–/5	–/43	–/52
вермикуліт2	2×5	36	190	66	–/0	–/2	–/4
мікросфери	0,05-0,08	*	135	**	–/9	–/28	–/72
адсорбенти							
тальк	<0,01	–	504	**	–/4	–/23	–/34
цеоліти	3–6	–	1035	14	±/1	+/4	+/14
силікагель	1-2,5		917	**	±/3	±26	–/78
інгібітори горіння - індивідуальні речовини							
NaHCO ₃	<0,1	–	1089	–	–/7	–/23	–/31
NaHCO ₃	5–10	–	631	–	±/0	±/0	+/2
NaCl	0,2–0,6	–	1230	–	–/4	–/36	–/55
Na ₂ HPO ₄	<0,1	–	622	–	+/18	+/78	+/87
KH ₂ PO ₄	0,1×5	–	1377	–	±/6	–/50	–/74
NH ₄ H ₂ PO ₄	0,2–0,4	–	967	–	–/9	–/38	–/50
(NH ₄) ₂ HPO ₄	0,2–0,4	–	916	–	–/7	–/35	–/53
K ₂ CO ₃	<0,1	-	933		± /6	–/46	–/72
інгібітори горіння - мінеральні добрива							
калійна сіль	3–6	–	1104	–	±/0	+/2	+/6
амофос	2–4	–	954	–	±/0	+/2	+/12
амофоска	2–4	–	823	–	±1	+/4	+/14
вуглеамонійна сіль	<0,1	-	875		±/5	–/44	–/77

* – візуально не визначилося, ** – повна втрата сипкості, (–): відсутність такої властивості

Адсорбція етанолу для тальку, цеоліту та силікагелю становили 0,8 %, 1,1 % та 5,3 %.

5. Обговорення результатів дослідження характеристик обраних сипких матеріалів

Вперше проведено дослідження характеристик ряду сипких матеріалів для Fire safety. DOI: 10.52363/2524-0226-2022-35-23

з'ясування їх можливості використання для формування двошарової вогнегасної системи з комбінованою вогнегасною дією для гасіння полярних легкозаймистих рідин призвело до таких результатів.

На основі раніш запропонованого експериментального методу визначенні плавучості обраних сипких матеріалів. Найбільшу плавучість виявлено у гранульованого ПС з розмірами частинок (10–15), (15–25) та (25–35) мм.

Так, ПС має плавучість в 2–5 разів більшу ніж спучені перліт і вермікуліт. Це пояснюється тим, що у гранул ПС великих розмірів частка замкнених пор більша ніж у гранул маленьких розмірів. Піноскло з розмірами гранул (5–10) мм може бути використане тільки як матеріал верхнього ізолюючого шару. Одночасно можна відзначити, що ПС з розмірами гранул (15–25) та (25–35) мм можна використовувати в якості нижнього шару лише з сипкими матеріалами, розмір гранул яких перевищує 2,5 мм.

Більш дрібніші гранули в помітній мірі просиплюються вниз крізь нижній шар. Всі сипкі матеріали з розміром гранул менше 0,1 мм помітно просиплюються вниз навіть крізь шар ПС з розміром гранул (10–15) мм. Це пояснюється тим, що у всіх обраних сипких матеріалів розмір порожнин між гранулами в умовах вільного засипання перевищують 0,1 мм. Тому вони виявляють низьку здатність заповнювати порожнечі нижнього шару ПС. За насипною щільністю переваги мають спучені перліт та вермікуліт, а також ПС-1. Ці сипкі матеріали мають велику частку замкнених газонаповнених пор и відносно багатьох інших матеріалів невелику істину щільність. Спучені перліт і вермікуліт також показують прийнятні результати щодо здатності не просиплятися та заповнювати порожнечі нижнього шару ПС. Найкращі результати щодо здатності не просиплятися та заповнювати порожнечі виявляють речовини, обрані як інгібітори горіння. Однак, вони мають найбільшу насипну густину. Це пояснюється тим, що інгібітори горіння ні є пористими матеріалами. Але промисловість не виробляє обрані інгібітори горіння в потрібній формі. Останній факт потребує введення інгібіторів в вогнегасну систему в іншому вигляді, наприклад, у вигляді покриття на легкому пористому носії або дрібнодисперсного порошку. Речовини, обрані як адсорбенти, мають прийнятні показники за здатністю не просиплятися крізь нижній шар, але погані показники за насипною щільністю. За параметром вологоутримання найкращі результати показали ПС всіх розмірів, пористі матеріали (крім скляних мікросфер) та прийнятні результати показали цеоліти. Для визначення адсорбційних властивостей було розроблено експериментальну методику яка наближує умові експерименту до реальних умов пожежі. Тільки та цеоліт показали низькі адсорбційні властивості по відношенню до пари етанолу (0,8 і 1,1 % відповідно). Тільки силікагель в умовах досвіду показав прийнятний результат, поглинув понад 5 % етанолу. Отримані результати дозволяють досягти мети роботи, а саме: визначити компоненти двошарової вогнегасної системи з комбінованою вогнегасною дією. Тому, в якості матеріалу, що забезпечує плавучість, доцільно вибрати ПС з розміром гранул (10–15) мм. В якості верхнього шару доцільно випробувати, цеоліти, силікагель, ПС з розміром гранул (5–10 мм), спучений перліт і два різновиди спученого вермікуліту. В разі використання інгібіторів процесу горіння ці речовини потрібно застосовувати у вигляді дрібнодисперсного порошку або покриття на легкому пористому носії. Для двошарової вогнегасної системи з комбінованою вогнегас-

ною дією наведені матеріали є перспективними. Тому, наступні дослідження доцільно проводити на зазначених системах.

6. Висновки

1. Теоретично обґрунтовано використання ряду сипких матеріалів (цеоліти, силікагель, ПС з розміром гранул (5–10 мм), спучений перліт і два різновиди спученого вермікуліту) для верхнього шару бінарної вогнегасної системи. Обрані матеріали забезпечують ефекти ізоляції, охолодження і розведення. Також запропоновано використання матеріалів, що забезпечують інгібування процесу горіння (гідрокарбонат, хлорид калію, фосфати амонію, амофосу, натрій хлорид, гідрофосфати натрію і калію, карбонат і гідрокарбонат амонію, калію карбонат).

2. Експериментально визначено насипну щільність, вологоутримання і плавучість в етанолі ряду обраних сипких матеріалів з різними домінуючими механізмами припинення горіння та різними розмірами та формами гранул. Встановлено, що забезпечити найбільшу плавучість двошарової вогнегасної системи можна за допомогою піноскла з розмірами гранул (10–15) мм, (15–25) мм та (25–35) мм. Найбільше вологоутримання реалізується застосуванням спучених перліту та вермікуліту. Прийнятне вологоутримання мають всі фракції піноскла і цеоліти.

3. Визначено вплив розмірів та форми гранул обраних сипких матеріалів на здатність заповнювати порожнечі нижнього шару піноскла та просипатися крізь цей шар. Встановлено, що сипкі матеріали з розміром гранул менше 0,1 мм помітно просиплюються вниз крізь шар ПС. Найменше просипання забезпечує нижній шар піноскла з розміром гранул (10–15) мм. Такий шар піноскла забезпечує відсутність просипання вермікуліту і всіх сипких матеріалів з інгібуючим ефектом у разі, якщо розмір їх гранул перевищує 2,5 мм.

4. Проведено оцінку адсорбційних властивостей низки сипких матеріалів по відношенню до пари етанолу. Адсорбція пару етанолу тальком склала – 0,8 %, цеоліту – 1,1 %, силікагелю – 5,3 %. Порівняння результатів свідчить, що адсорбція етанолу силікагелем у 5 разів більша за наведені матеріали. У подальших дослідженнях ізолюючих та вогнегасних властивостей двошарової вогнегасної системи це необхідно враховувати під час оцінки результатів.

5. Обрано системи на основі сипких матеріалів для подальшого вивчення їх вогнегасних властивостей при гасінні легкозаймистих полярних рідин. Для подальшого вивчення ізолюючих та вогнегасних властивостей двошарової вогнегасної системи, призначеної для гасіння полярних легкозаймистих рідин в якості матеріалу, що забезпечує плавучість, доцільно обрати піноскло з розміром гранул (10–15) мм. Для верхнього шару, доцільно випробувати цеоліти, силікагель, піноскло з розміром гранул (5–10) мм, спучений перліт та два різновиди спученого вермікуліту. В разі використання інгібіторів процесу горіння ці речовини потрібно застосовувати у вигляді дрібнодисперсного порошку або покриття на легкому пористому носії.

Література

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

2. EN 1568-2:2018. Fire extinguishing media – Foam concentrates. Part 2: Specification for high expansion foam concentrates. Part 2: Fire safety. DOI: 10.52363/2524-0226-2022-35-23

fication for high expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids.

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

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

5. Рекомендации по тушению полярных жидкостей в резервуарах. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России. 2007. 58 с.

6. Нормы пожарной безопасности Республики Беларусь. Порядок определения необходимого количества сил и средств подразделений по чрезвычайным ситуациям для тушения пожаров. МЧС Беларусь. Минск. 2017. 27 с.

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

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

9. Бочаров В. В. Раевская М. В. Использование перфторированных ПАВ в пенообразователях – «второе пришествие». Галогенорганика с наихудшим сценарием развития для обитателей земли. Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22. № 10. С. 75–82.

10. Безродный И. Ф. Экология пожаротушения – пока это только слова. Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22. № 6. С. 85–90.

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

12. Дадашов І. Ф., Кіреєв О. О., Трегубов Д. Г., Тарахно О. В. Гасіння горючих рідин пористими матеріалами та гелеутворюючими системами. Харків.: ФОП Бровін. 2021. 240 с. ISBN 978-617-8009-60-1

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

14. Dadashov I., Kireev A., Kirichenko I., Kovalev A., Sharshanov A. Simulation of the properties two-layer material. Functional Materials. 2018. Vol. 25. № 4. P. 774–779. doi:<https://doi.org/10.15407/fm25.04.1>

15. Електронний ресурс <https://vb.by/society/incidents/spirt.html>

16. Електронний ресурс. Ethanol Tank Fire Fighting Background and previous research. <https://www.sp.se/en/Sidor/default.aspx>

17. Бабашов И. Б., Дадашов И. Ф., Киреев А. А. Пути совершенствования методов тушения полярных легковоспламеняющихся жидкостей. Proceedings of international and scientific conference on “Prospects of innovative development of technical and natural sciences”, 25–26 November, 2021, Baku, Azerbaijan. P 24–32.

18. Zhuo Chen, Shixiong Huang, Bingyan Jiang. Syntactic for prepared with glass hollow spheres of designed size and wall thickness ratio. Advanced Materials Research. 2015. Vol. 1061–1062. P. 129–132.

I. Babashov¹, Vice Rector

I. Dadashov¹, DSc, Head of the Faculty

O. Kireev², DSc, Professor, Professor of the Department

O. Savchenko², PhD, Senior Researcher, Deputy Head of Department

¹Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

²National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

CHOICE OF BULK MATERIALS FOR EXTINGUISHING POLAR FLAMMABLE LIQUIDS

The study of the previously proposed method of extinguishing polar liquids with fire extinguishing agents based on light bulk porous materials is continued. The analysis of characteristics (adsorption properties in relation to ethanol vapor, the effect of combustion inhibition) and the choice of bulk materials for extinguishing flammable polar liquids. The bulk density, moisture content and buoyancy in ethanol of a number of selected bulk materials with different dominant mechanisms of cessation of combustion and different sizes and shapes of granules were experimentally determined. It has been established that the greatest buoyancy of a two-layer fire extinguishing system can be ensured with the help of foam glass with granule sizes (10–15), (15–25) and (25–35) mm. The influence of the characteristics of bulk materials on their fire-extinguishing properties: bulk density, buoyancy, water retention, ability to fill the voids of the lower layer and wake up through this layer is analyzed. Based on the determination of the ability to fall through the layer of granular foam glass, it was found that the lowest pouring provides the lower layer of foam glass with a granule size (10–15) mm. It was determined that the best adsorption properties in relation to ethanol vapor exhibits silica gel – 5,3 wt. %. It is concluded that for further study of the fire extinguishing properties of a two-layer fire extinguishing system designed to extinguish flammable polar liquids as a material that provides buoyancy, it is advisable to choose foam glass with a granule size (10–15) mm. For the top layer, it is advisable to test all substances that can inhibit the combustion process, as well as zeolites, granular silica gel, foam glass with a granule size (5–10) mm, expanded perlite with granules with a diameter of (1–1,5) mm, and two varieties exfoliated vermiculite.

Keywords: extinguishing liquids, polar flammable liquids, ethanol, bulk materials, foam glass, adsorbents, combustion inhibitors

References

1. EN 1568-1:2018. Fire extinguishing media. Foam concentrates. Part 1: Specification for medium expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids.
2. EN 1568-2:2018. Fire extinguishing media – Foam concentrates. Part 2: Specification for high expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids.
3. EN 1568-3:2018. Foam concentrates. Part 3: Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids /European standard.
4. Borovikov, V. O., Chepovskiy, V. O., Slutska, O. M. Rekomendats, I. Yi. (2009). Schodo gasinnya pozhezh u spirtoshovischah, scho mIstyat etiloviy spirt. MNS UkraYini. K.: UkrNDIPB, 76.
5. Rekomendatsii po tusheniyu polyarnih zhidkostey v rezervuarah. (2007). M.: FGU VNIPO MChS Rossii, 58.
6. Normyi pozharoy bezopasnosti Respubliki Belarus. Poryadok opredeleniya neobhodimogo kolichestva sil i sredstv podrazdeleniy po chrezvyichaynym situatsiyam dlya tusheniya pozharov. MChS Belarus. Minsk, 27.
7. Ivanković, T. (2010). Surfactants in the environment. Arh. Hig. Rad. Toksikol, 61, 1, 95–110. <http://dx.doi.org/10.2478/10004-1254-61-2010-1943>

8. Olkowska, E. (2011). Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges. *Chem. Rev*, 111, № 9, 5667–5700. <https://doi.org/10.1021/cr100107g>
9. Bocharov, V. V. Raevskaya, M. V. (2013). Ispolzovanie perftorirovannykh PAV v penoobrazovatelyah – «vtoroe prishestvie». *Galogenorganika s naihudshim stsenariem razvitiya dlya obitateley zemli. Pozharovzryivobezopasnost*, 22, 10, 75–82.
10. Bezrodnyiy, I. F. (2013). Ekologiya pozharotusheniya – poka eto tolko slova. *Pozharovzryivobezopasnost*, 22, 6, 85–90.
11. Huiqiang, Zhi, Youquan, Bao, Lu, Wang, Yixing, Mi. (2020). Extinguishing performance of alcohol-resistant firefighting foams on polar flammable liquid fires. *Journal of Fire Sciences*, 38(1), 53–74. doi: 10.1177/0734904119893732 journals.sagepub.com/home/jfs
12. Dadashov, I. F., Kirieiev, O. O., Trehubov, D. H., Tarakhno, O. V. (2021). Hasinnia horiuchykh ridyn porystymy materialamy ta heleutvoriuiuchymy systemamy. Kharkiv.: FOP Brovin, 240. ISBN 978-617-8009-60-1
13. Makarenko, V. S., Kirieiev, O. O., Chyrkina, M. A., Dadashov I. F. (2020). Doslidzhennia izoliuiuchykh vlastyvostei shariv lehkykh porystykh materialiv. *Проблеми пожегової безпеки*, 48, 112–118. URL: <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/zbirky-naukovykh-prats-ppb/ppb48/15.pdf>
14. 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:<https://doi.org/10.15407/fm25.04.1>
15. Elektronniy resurs <https://vb.by/society/incidents/spirt.html>
16. Elektronniy resurs. Ethanol Tank Fire Fighting Background and previous research. <https://www.sp.se/en/Sidor/default.aspx>
17. Babashov, I. B., Dadashov, I. F., Kireev, A. A. (2021). Puti sovershenstvovaniya metodov tusheniya polyarnykh legkovosplamenyayuschih zhidkostey. Proceedings of international and scientific conference on “Prospects of innovative development of technical and natural sciences”, Baku, Azerbaijan, 24–32.
18. Zhuo, Chen, Shixiong, Huang, Bingyan, Jiang. (2015). Syntactic for prepared with glass hollow spheres of designed size and wall thickness ratio. *Advanced Materials Research*, 1061–1062, 129–132.

Надійшла до редколегії: 22.04.2022

Прийнята до друку: 16.06.2022