

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**

ДАДАШОВ ІЛЬГАР ФІРДОСІ ОГЛИ

УДК 614.84

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ГАСІННЯ ГОРЮЧИХ РІДИН
ТВЕРДИМИ ПОРИСТИМИ МАТЕРІАЛАМИ ТА
ГЕЛЕУТВОРЮЮЧИМИ СИСТЕМАМИ**

21.06.02 – Пожежна безпека

АВТОРЕФЕРАТ

Дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті цивільного захисту України
Державної служби України з надзвичайних ситуацій, м. Харків.

**Науковий
консультант:**

доктор технічних наук, доцент
Кіреєв Олександр Олександрович
Національний університет цивільного захисту
України, м. Харків, професор кафедри спеціальної
хімії та хімічної технології

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Беліков Анатолій Серафимович
Придніпровська державна академія будівництва й
архітектури, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності

доктор технічних наук, професор
Ковалишин Василь Васильович
Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності, завідувач кафедри пожежної тактики
та аварійно-рятувальних робіт

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Жартовський Сергій Володимирович
Український науково-дослідний інститут цивільного
захисту, провідний науковий співробітник відділу
протипожежних заходів науково-дослідного центру
технічного регулювання

Захист відбудеться “20” червня 2019 р. о 14.00 годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 64.707.01 Національного університету цивільного
захисту України за адресою: 61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного
університету цивільного захисту України за адресою: 61023, м. Харків,
вул. Чернишевська, 94 та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 64.707.01 за
електронною адресою: <http://nuczu.edu.ua>

Автореферат розісланий “16” травня 2019 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 64.707.01



А.О. Михайлюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Загальний мировий обсяг використання горючих рідин (ГР) оцінюється в 4,2 млрд. тон на рік з тенденцією поступового збільшення. Не зважаючи на удосконалення протипожежних заходів на об'єктах з використанням ГР, кількість пожеж на таких об'єктах залишається на високому рівні. Гасіння таких пожеж є однією з найскладніших проблем пожежогасіння. Особливо великі труднощі викликає гасіння нафти та нафтопродуктів в резервуарних парках. Зазвичай такі пожежі характеризуються підвищеною тривалістю, необхідністю залучення великої кількості сил і засобів пожежогасіння, великими матеріальними збитками і нерідко людськими жертвами. Існуючі засоби гасіння горючих рідин часто не забезпечують позитивний результат навіть при повному виконанні нормативних вимог.

Проблеми підвищення ефективності гасіння пожеж горючих рідин (пожеж класу В) займалися Абрамов Ю.О., Антонов А.В., Блінов В.І., Басманов О.Є., Боровиков В.О., Воевода С.С., Ковалишин В.В., Козаков М.В., Козлов В.А., Кучер В.М., Меркулов В.А., Молчанов В.П., Петров І.І., Худяков Г.М., Шароварніков О.Ф., Шароварніков С.О., Кацуяма В., Barret J., Bauer V.G., Cambou A., Herrog G., Falkenhainer K.-H., McCahan C., Nash P., Paramon R., Plan B., Szoryi J., Wilson M., Whitle J. та інші.

В теперішній час основним і найбільш універсальним засобом гасіння пожеж класу В є повітряно-механічні піни, але вони мають ряд суттєвих недоліків: швидке руйнування в процесі подачі та впливу факторів пожежі, руйнування при контакті з полярними рідинами, унесення конвективними потоками, мала охолоджуюча дія, низькі екологічні та економічні параметри.

При цьому більша кількість досліджень була спрямована на вдосконалення вогнегасних властивостей повітряно-механічних пін. З пінних засобів пожежогасіння перевагу мають низьократні піни, які одержані з плівкоутворювальних поверхнево-активних речовин. Але і вони мають суттєві недоліки. Серед таких недоліків основним є їх мала стійкість до термічного впливу від дії інтенсивних теплових потоків полум'я палаючої рідини – водні плівки в бульбашках піни виявляють високу ізолюючу дію, але низьку стійкість до термічного впливу.

Ефективний вогнегасний засіб гасіння ГР повинен мати високі ізолюючі властивості та високу стійкість до термічного впливу. Такі характеристики мають суцільні шари негорючих неорганічних речовин, але такі речовини мають більш високу густину ніж більшість ГР (і, відповідно, від'ємну плавучість), що не дозволяє використовувати їх при гасіння пожеж класу В. Великий внесок в розробці вогнегасних і вогнезахисних засобів для твердих і рідких речовин з високою ізолюючою дією внесли І.М. Абдурагімов, А.С. Беліков, С.В. Жатовський, Н.О. Тичіно, А.А. Чернуха та інші. Для застосування цих розробок для гасіння ГР, потрібно забезпечити плавучість твердого ізолюючого шару в ГР, що можна досягти використовуючи тверді пористі матеріали. При цьому, в якості засобу, який забезпечує утворення на

поверхні твердого пористого матеріалу суцільного ізолюючого шару, можуть бути використані гелеутворюючі системи. Однак, це потребує розробки теоретичних основ використання їх як складових засобів пожежогасіння ГР.

Розробка наукових основ сумісного використання твердих пористих матеріалів і гелеутворюючих систем дозволить подолати ряд суттєвих недоліків існуючих засобів гасіння пожеж горючих рідин і розробити на цій основі нові більш ефективні засоби ліквідування пожеж класу В.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась в рамках науково-дослідних робіт “Вогнегасні системи з роздільним подаванням компонентів для гасіння пожеж класу В” (НДР № 0017U005161) та “Підвищення ефективності гасіння резервуарів з нафтою та нафтопродуктами шляхом використання гелеутворюючих систем” (НДР № 0118U001012), в яких автор був відповідальним виконавцем.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розвиток наукових основ ліквідації пожеж горючих рідин новими більш ефективними засобами у шляхом сумісного використання твердих пористих матеріалів та гелеутворюючих систем.

Для досягнення такої мети треба вирішити наступні задачі:

- на основі аналізу основних механізмів припинення горіння, провести вибір принципової схеми вогнегасного засобу, який одночасно забезпечує плавучість, високі охолоджуючі та ізолюючі властивості, великій час стійкості;
- обґрунтувати вибір, з таких що виробляються промисловістю, пористого вогнестійкого матеріалу, який забезпечує плавучість вогнегасної системи, високі охолоджуючі властивості та прийнятні екологічні та економічні параметри;
- обґрунтувати вибір матеріалу для утворення додаткового поверхневого шару з високими ізолюючими властивостями;
- розробити математичні моделі, що дозволяють оцінити ізолюючі властивості шарів твердого пористого матеріалу, гелю та бінарного шару “пористий матеріал + гель” у випадку встановлення стаціонарного режиму процесу дифузії пари ГР крізь ці шари;
- розробити математичні моделі які дозволяють оцінити охолоджуючі властивості шару твердого пористого матеріалу;
- розробити експериментальні методи визначення охолоджуючих та ізолюючих властивостей шарів твердого пористого матеріалу, гелю, і бінарного шару “гель + піноскло”. на основі яких отримати відповідні характеристики;
- вдосконалити існуючі експериментальні методи визначення вогнегасних характеристик речовин з урахуванням особливостей запропонованої вогнегасної системи, на основі яких встановити умови, що забезпечують припинення горіння і недопущення повторного займання рідин;
- визначити вплив гранулометричного складу подрібненого піноскла на його вогнегасні характеристики;

- встановити залежності потрібної витрати компонентів вогнегасної системи для гасіння рідин як функції температури їх спалаху;
- розробити та провести випробування пристрою для забезпечення подавання гранульованого пористого матеріалу на поверхню рідини, що горить;
- розробити практичні рекомендації щодо гасіння пожеж класу В за допомогою вогнегасних засобів на основі твердих пористих матеріалів і гелеутворюючих систем.

Об'єкт дослідження – пожежогасіння горючих рідин з використанням вогнегасного засобу на основі пористих негорючих матеріалів і гелеутворюючих систем.

Предмет дослідження – вплив параметрів вогнегасного засобу на основі пористого негорючого матеріалу та гелеутворюючої системи на процес горіння рідин та визначення умов його припинення.

Методи дослідження: під час виконання дисертаційної роботи були використані: хімічні методи – кислотно-основного титрування, гравіметричний, індикаторний метод визначення рН для аналізу розчинів компонентів ГУС, контролю їх хімічних характеристик; фізико-хімічні методи – термодинамічний, калориметричний, для визначення охолоджуючої дії сухого та змоченого піноскла; фізичні методи – денсиметрії, методи визначення реологічних властивостей для визначення фізичних властивостей компонентів гелеутворюючих систем; стандартні методики визначення вогнегасних характеристик речовин для встановлення витрат компонентів вогнегасної системи потрібних для гасіння модельних вогнищ пожежі класу В; методи математичного моделювання для теоретичної оцінки охолоджуючих та ізолюючих характеристик шарів піноскла та гелю, раціонального планування експерименту, обробки його результатів і вибору раціональних параметрів процесу пожежогасіння.

Наукова новизна отриманих результатів. У роботі одержані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності забезпечують вирішення актуальної наукової проблеми розвитку наукових основ використання твердих пористих матеріалів і вогнегасних гелеутворюючих систем для ліквідування пожеж за участю горючих рідин. На цій основі було розроблено новий вогнегасний засіб в якому в значній степені подолано недосконалості існуючих методів ліквідації вказаних пожеж.

Вперше отримані наступні наукові результати:

1. Розроблено принципи вибору загальної схеми вогнегасного засобу, який одночасно забезпечує високі термостійкість, охолоджуючі та ізолюючі властивості, малі втрати вогнегасних речовин та великий час стійкості.

2. Запропоновано математичну модель процесу дифузії пари горючої рідини крізь бінарний шар “піноскло + гель”.

3. Розроблено методи експериментального визначення ізолюючої дії шару пористого гранульованого матеріалу, шару гелю та бінарного шару “пористий матеріал + гель”. На основі цього методу встановлено, що для вуглеводневих

рідин коефіцієнт уповільнення випарування тонким суцільним гелевим шаром з поверхневою витратою $(0,13 \div 0,14)$ г/см² перевищує 25.

4. Експериментально встановлені кількісні вогнегасні характеристики засобів на основі твердих пористих матеріалів і гелеутворюючих систем відносно вуглеводневих рідин.

5. Побудовано модель охолодження поверхневого шару рідини, що горить в резервуарі, гранулами сухого піноскла. Показано, що охолоджувальна дія забезпечується двома механізмами. Спочатку відбувається механічне переміщення поверхневого шару рідини з менш гарячими нижніми шарами, викликане подачею гранул піноскла на поверхню рідини. Далі відбувається теплообмін між гранулами і рідиною, що їх оточує, що призводить до відбору тепла від поверхневого шару рідини.

6. Запропоновано апроксимаційні рівняння, які дозволяють розрахувати товщину вогнегасного шару ПС потрібного для гасіння пожеж класу В на підставі даних щодо температур спалаху рідин та способу використання ПС для гасіння.

7. Розроблена нова технологія та визначена апаратурно-технологічна схема процесу подавання твердих негорючих пористих матеріалів на гасіння пожеж резервуарів з горючими рідинами.

Подальший розвиток набули:

1. Експериментальний метод визначення охолоджувальної дії сухого та змоченого піноскла відносно розігрітого верхнього шару рідини, що горить, який полягає в застосуванні калориметричної оцінки кількості тепла, що відбирає поданий на рідку поверхню шар піноскла.

2. Математичні моделі процесу дифузії пари горючої рідини крізь шар гелю та шар гранульованого матеріалу.

Удосконалено:

1. Параметри модельного осередку пожежі класу В для дослідження вогнегасних властивостей бінарних вогнегасних систем на основі піноскла

Практичне значення отриманих результатів. Використання розробленої вогнегасної системи дозволяє підвищити ефективність процесу гасіння пожеж класу В. Загальні масові витрати компонентів вогнегасної системи на основі пористих матеріалів і гелеутворюючих систем у $4 \div 10$ разів менше ніж відповідний показник для повітряно-механічних пін.

Запропонована вогнегасна система на основі гранульованого піноскла та вогнегасних гелеутворюючих систем забезпечує зниження фінансових витрат на вогнегасні речовини у випадку гасіння рідин з температурою спалаху нижче 30°C в 4,2 рази порівняно з використанням пін. У випадку гасіння рідин з температурою спалаху вище 30°C ця перевага складає $1,4 \div 1,8$ рази. Після гасіння світлих нафтопродуктів гранульоване піноскло можна використовувати багаторазово, що додатково підвищує економічні параметри запропонованого способу гасіння.

У разі використання легких пористих матеріалів і гелеутворюючих систем при гасінні резервуарів з нафтою і нафтопродуктами практично

повністю відсутнє забруднення горючих рідин, тоді як використання повітряно-механічних піл викликає їх забруднення, що призводить до неможливості їх подальшого використання за прямим призначенням або ускладнює їх подальшу переробку.

Результати проведених досліджень є основою для впровадження в практику пожежогасіння підрозділами ДСНС України пожеж класу В. Реалізацію результатів роботи здійснено шляхом прийняття до впровадження у практику пожежогасіння ПП МПП “СПЕЦПОЖТЕХНІКА” м. Харків, рекомендацій щодо зберігання, подачі на гасіння компонентів бінарної вогнегасної системи з піноскла та гідрогелю, відновлення піноскла та горючої рідини після гасіння пожежі, а також в якості інструкції для використання, щодо раціонального співвідношення компонентів у бінарній вогнегасній системі, що зменшує побічні збитки від гасіння, в порівнянні з пожежогасінням вогнегасною піною, в 2÷3 рази (акт впровадження від 10.01.2019 р).

Заводом “Етилен-поліетілен” ВО “Азерхімія” компанії SOCAR (Азербайджан) на основі запропонованих результатів розроблено рекомендації зі зберігання, подавання на гасіння, відновлення піноскла та відмічено економічну доцільність такого способу гасіння пожеж в резервуарах (акт впровадження від 16.10.2018 р).

Державною службою пожежної охорони Азербайджанської Республіки надано висновок про перевагу запропонованої вогнегасної системи порівняно з пінами з більш високими вогнегасними характеристиками і відсутністю забруднення нафтопродуктів (акт впровадження від 19.12.2018 р).

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес Національного університету цивільного захисту України при вивченні дисциплін “Теорія розвитку та припинення горіння” у розділі “Горіння рідин” та вивченні дисципліни “Управління пожежогасінням” у розділі “Управління пожежогасінням на об’єктах видобування, зберігання та переробки нафти й нафтопродуктів”. Це дозволило підвищити якість викладання аспектів взаємозв’язку означених дисциплін з майбутньою професією слухачів (акт впровадження від 16.01.2019).

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес Академії міністерства з надзвичайних ситуацій Азербайджанської Республіки при вивченні дисципліни “Тактика пожежогасіння та аварійно-рятувальні роботи” в розділах “Припинення горіння на пожежі”, “Гасіння пожеж” і “Гасіння пожеж на об’єктах добування, зберігання та переробки горючих та легкозаймистих рідин” (акт впровадження від 24.12. 2018 р).

Результати дисертаційної роботи втілено в розробку трьох патентів України на корисну модель щодо способу гасіння пожеж в резервуарах з нафтою та нафтопродуктами.

Особистий внесок здобувача полягає в формулюванні науково-прикладної проблеми у сфері пожежної безпеки, мети та завдань дослідження, об’єкту та предмету досліджень. Автором особисто проведено аналіз джерел інформації з теми роботи, розробці експериментальних і теоретичних методів

досліджень, обробці їх результатів та сформульовані висновків. Автором здійснено організацію та проведенні всіх експериментальних робіт.

Всі положення, винесені на захист та результати їх застосування наведено в роботах [1-47]. Особистий внесок здобувача в працях, які написані у співавторстві, полягає в наступному: у роботі [20] проведено аналіз недоліків існуючих засобів гасіння пожеж класу В і для підвищення ефективності гасіння таких пожеж запропоновано використання гелеутворюючих систем; в роботі [2] сформульовані основні вимоги до ізолюючого шару гелю та підготовлено основні параметри такого шару, які були використано в процесі моделювання ізолюючих властивостей; в роботі [1] сформульовані вимоги до легкого негорючого носія для шару гелю та наведені результати експериментальних досліджень плавучості різних силікатних пористих матеріалів; в роботах [3, 34] сформульовані основні вимоги до ізолюючого шару пористого гранульованого матеріалу та підготовлено основні параметри такого шару, які були використано в процесі моделювання ізолюючих властивостей; в роботі [13] підготовлено основні параметри бінарного шару “гранульований матеріал – гель”, які були використано в процесі моделювання ізолюючих властивостей такого шару; в роботі [21] проведено аналіз можливості використання гелеподібного шару для ізоляції поверхні рідини; в роботах [6, 10] розроблено методики проведення експерименту з визначення ізолюючих властивостей гелю та зроблено висновки за їх результатами; в роботі [36] розроблено методику проведення експериментів з впливу шару піноскла на швидкість випарування рідин; в роботах [7, 23] розроблено методику проведення експериментів з впливу шару піноскла на швидкість горіння вуглеводневих рідин, прийнято участь в його проведенні і формулюванні висновків; в роботах [18, 30] прийнято участь в експериментальних дослідженнях з гасіння модельного вогнища пожежі класу 2В, проведено аналіз отриманих результатів; в роботі [39] прийнято участь в експериментальних дослідженнях з впливу піноскла на горіння алканів, проведено аналіз отриманих результатів; в роботах [29, 41] визначені шляхи підвищення екологічних характеристик засобів гасіння пожеж за участю горючих рідин; в роботах [9, 22] проведено порівняльний аналіз екологічних характеристик компонентів гелеутворюючих систем; в роботах [33, 38] підготовлено матеріали для проведення токсико-екологічної оцінки компонентів запропонованої вогнегасної системи та прийнята участь у виборі компонентів відповідної системи; в роботах [8, 37] проведено аналіз засобів подачі гранульованих матеріалів на великі відстані. сформульовано вимоги подачі піноскла до вогнища пожежі та прийнята участь в її конструюванні та випробуваннях; в роботах [16, 40] проведено обґрунтування параметрів ежекційного апарату для подачі піноскла до вогнища пожежі; в роботі [17] прийнята участь в конструюванні та випробуваннях ежекційного апарату для подавання піноскла; в роботі [35] розроблена методика проведення експериментів з дослідження впливу бінарного шару “піноскло – гель” на швидкість горіння вуглеводневих рідин, прийнято участь в його проведенні і

формулюванні висновків; в патенті [27] автору належить ідея подачі піноскла в резервуар підшаровим методом; в роботах [43-44] автору належать елементи технічної реалізації методу підшарового подавання піноскла в резервуар з горючими рідинами; в патенті [26] запропоновано метод гасіння пожеж в резервуарах з горючими рідинами шляхом сумісного використання сухого піноскла та гелю, а у патенті [28] запропоновано для цих цілей використання змоченого піноскла; в роботах [45-46] автором проведено експериментальні дослідження ізоляції розливів небезпечних та горючих рідин і зроблено висновки; в роботах [12, 39] проведено узагальнення результатів досліджень з гасіння пожеж класу В; в роботі [42] розглянуто перспективи використання запропонованої вогнегасної системи для гасіння пожеж в резервуарах з горючими рідинами.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародному відеосемінарі “Пожарная безопасность объектов хозяйствования”, Кокшетау, 2016 г.; міжнародної науково-практичної конференції “Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации”, “Гомельский инженерный институт” МЧС Республики Беларусь, 2016 г.; міжнародної науково-практичної конференції “Natural disasters and human life safety”, Баку, Azerbaijan, 2017 р; 19 Всеукраїнській науково-практичній конференції “Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку”, Київ, 2017 р.; міжнародної. заочної науково-практичної конференції “Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций: методы, технологии, проблемы и перспективы”, г. Светлая Роща, Республика Беларусь, 2017 г.; Всеукраїнській науково-практичній конференції “Пожарна безпека. Проблеми та перспективи”, Харків, 2018 р.; V Міжнародному конгресі “Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування”, НУ “Львівська політехніка”, Львів. 2018 р.; IX Міжнародній науково-практичній конференції “Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій” ЧПБ НУЦЗУ Черкаси, 2018 р.; XIII Міжнародній науково-практичній конференції, ADDA, Баку, 2018 р.; Міжнародній науково-практичній конференції “Безопасность в ЧС”, Баку, 2018 р.; 20 Всеукраїнській науково-практичній конференції “Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку”, м. Київ, 2018 р.; Міжнародній науково-практичній конференції “Национальная стратегия по снижению рисков ЧС в Республике Беларусь на 2019-2030 годы”, Минск: УГЗ, 2018 г.; V Міжнародній заочній науково-практичній конференції “Проблемы экологии и экологической безопасности”, Мінськ, 2018 р.; Міжнародному відіосемінарі “Пожарная безопасность объектов хозяйствования”, Кокшетаунский технический институт Комитета по ЧС МВД Республики Казахстан, 2018 р.; Міжнародній науково-практичній конференції “Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций”, Кокшетау, 2018 р.

Публікації. Основні положення і наукові результати дисертаційної роботи висвітлено у 26 наукових статтях, з яких 6 в закордонних виданнях (1

входить в наукометричну базу Scopus), 19 – у фахових виданнях України (1 входить в наукометричну базу Scopus, три – в Ulrich's Periodicals Directory та Index Copernicus), 1 – в інших виданнях України, 18 тезах доповідей на науково-технічних конференціях і 3 патентах України на корисну модель.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел з 351 найменувань, містить 391 сторінку друкованого тексту (з них 288 сторінок основного тексту), 48 таблиць, 63 рисунків, 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі, об'єкт і предмет досліджень, відображено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, дані щодо апробації, а також публікації її результатів.

У першому розділі “Аналіз сучасних тенденцій розвитку засобів гасіння пожеж класу В” розглянуто особливості горіння горючих рідин і фактори, що впливають на цей процес. Показано, що найбільші труднощі викликає гасіння нафти і нафтопродуктів в резервуарних парках. Зазвичай такі пожежі характеризуються підвищеною тривалістю, необхідністю залучення великої кількості сил і засобів пожежогасіння, великими матеріальними збитками і нерідко людськими жертвами.

Зауважено, що у літературних джерелах є інформація щодо можливості гасіння горючих рідин практично всіма існуючими на теперішній час методами і засобами пожежогасіння. На основі аналізу основних механізмів і факторів, які визначають вогнегасну здатність речовин по відношенню до горючих рідин, встановлено, що жодна з них не володіє більшістю переваг одночасно. Найкращих результатів в підвищенні ефективності вогнегасних засобів можна досягнути шляхом розробки таких вогнегасних речовин, в яких в найбільшій степені задіяні всі основні механізми припинення горіння та інші фактори, що визначають вогнегасну здатність.

У табл. 1 підсумовані данні щодо прояви основних факторів, які визначають вогнегасну дію різних типів речовин при гасінні пожеж класу В.

На основі аналізу практики пожежогасіння зроблено висновок, що найбільш ефективними і універсальними засобами пожежогасіння рідких горючих речовин, є засоби в яких реалізуються ізолюючий і охолоджуючий механізми припинення горіння. Такі властивості мають вогнегасні піни. Серед повітряно-пінних засобів пожежогасіння перевагу мають низькократні піни, які одержані з плівкоутворювальних поверхнево-активних речовин.

У вогнегасних пін є суттєві недоліки – мала стійкість пін при дії інтенсивних теплових потоків від полум'я палаючої рідини та від контакту піни з рядом горючих рідин, особливо полярних; піни важко подати на великі відстані; висока вартість ряду піноутворювачів; присутність в піноутворювачах екологічно небезпечних речовини.

Таблиця 1

Основні складові вогнегасних характеристик різних видів засобів
пожежогасіння для пожеж класу В

Тип ВР	Характеристики ВР							
	охолод- ження	ізоляція	розбав- лення	інгібу- вання	еколог. безпека	економ. пара- метр	коэф-т викорис- тання	час дії
вода	++	–	±	–	++	++	–	–
розчини	++	–	+	++	±	+	–	–
піни	±	++	±	–	–	–	±	+
ПУС	±	++	±	–	–	–	±	±
піни, що тверднуть	±	++	±	–	–	–	++	++
порошки	–	–	–	++	±	±	–	–
аерозолі	–	–	–	++	±	±	–	–
гази розріджу- вачі	–	–	+	–	+	±	–	–
гази інгібітори	–	–	+	++	–	±	–	–
ГУС	++	++	±	–	+	+	++	++

де “++” – дуже висока, “+” – висока, “±” – середня, “–” – низька.

Важливим висновком з практики пожежогасіння є встановлення факту, що існуючі засоби пожежогасіння часто не забезпечують позитивний результат гасіння в разі резервуарів великого розміру навіть при повному виконанні нормативних вимог. Це вказує на існування потреби в розробці більш ефективних ніж існуючі, засобів гасіння горючих рідин.

В другому розділі “Обґрунтування вибору засобу підвищеної ефективності для гасіння пожеж класу В” на основі аналізу механізмів припинення горіння і сучасних тенденцій розвитку засобів гасіння горючих рідин проведено вибір принципової схеми вогнегасної системи для гасіння пожеж класу В. Для забезпечення високих ізолюючих властивостей доцільно використовувати шар гелю, який з відомих вогнегасних речовин (ВР) має найбільш високі ізолюючі властивості разом з високою стійкістю до термічного впливу. Шар гелю формується за допомогою гелеутворюючої системи (ГУС) “ $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ ”. Її компоненти відповідають вимогам з токсичності та екологічним параметрам до ВР.

Також проведено вибір легкого носія для ізолюючого шару гелю. З матеріалів, що виробляються в промислових масштабах обрано негорючий, термостійкий, екологічно безпечний матеріал – гранульоване піноскло (ПС). Встановлено, що ПС крім функції носія для шару гелю проявляє охолоджуючі та ізолюючі властивості. Для підвищення охолоджуючих властивостей легкого носія запропоновано використовувати змочене ПС. Експериментально встановлено, що водоутримання ПС, яке одержано подрібненням блочного матеріалу, може досягати 50 %. В ході лабораторних досліджень визначені плавучості сухого та змоченого ПС, які змінюються в залежності від рідини та розміру гранул в інтервалі $0,21 \div 0,64$.

Проведено аналіз можливості унесення гранул ПС висхідними потоками від полум'я. Умовою напрямку руху гранули ПС вниз у висхідному потоці є перевищення сили тяжіння ($F_T = mg$) над силою аеродинамічного опору (F_o):

$$F_T > F_o. \quad (1)$$

Для сферичної форми гранули отримаємо:

$$\frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho_{nc} \cdot g > \frac{0,47 \cdot \rho_n \cdot v^2 \cdot \pi \cdot r^2}{2}, \quad (2)$$

де r – радіус сферичної гранули ПС, ρ_{nc} – густина ПС, ρ_n – густина повітря, v – швидкість висхідного потоку, g – прискорення вільного падіння.

Рішення рівняння (2) для характерної швидкості висхідного потоку $v = 2,6$ м/с, дає: $r > 1,2 \cdot 10^{-3}$ м = 1,2 мм.

Експериментально встановлена питома поверхнева витрата ГУС, яка забезпечує утворення суцільного шару гелю із заповненням проміжків між гранулами ПС. Вона складає 7, 9 і 13 кг/м² для гранул з розмірами (1÷1,5) см, (1,5÷2,5) см та (2,5÷4,0) см відповідно. Також експериментально встановлені товщини шару ПС, які забезпечують плавучість суцільного шару гелю для гранул з розмірами (1÷1,5) см; (1,5÷2,5) см та (2,5÷4,0) см. Вони знаходяться в інтервалі (10÷20) см.

На основі теоретичних розрахунків зроблено висновок, що гасіння рідин з температурою займання більше за 100°C може бути досягнуто лише за рахунок використання ефекту охолодження верхнього шару рідини. При цьому доцільно в якості речовини з високими охолоджуючими властивостями застосовувати воду, носієм якої є піноскло.

У третьому розділі “Визначення параметрів вогнегасної системи “гель – піноскло”” наведено методики і результати теоретичних та експериментальних досліджень характеристик вогнегасної системи “ПС + ГУС”, які є складовими вогнегасної дії.

Для аналізу ізолюючої дії шару гелю було проведено математичне моделювання дифузії пари рідин крізь такий шар. Схема ситуації, що

розглядається, зображена на рис. 1.

Рівняння стаціонарного масопереносу в гелевому шарі має вигляд:

$$j_{\mu.w} = \frac{D_w}{h}(c_{w.1} - c_{w.2}), \quad (3)$$

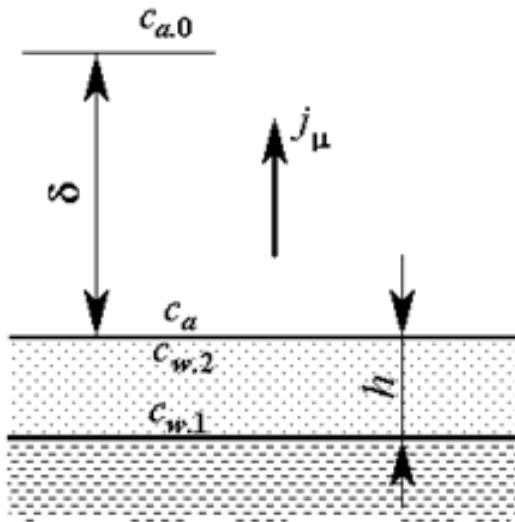


Рис. 1. Просторова схема задачі переносу пари рідини крізь шар гелю

де $j_{\mu.w}$ – поверхнева густина молярного потоку пари рідини крізь шар гелю, $\text{моль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$; D_w – коефіцієнт дифузії парів у гелі, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$; h – товщина шару гелю, м; $c_{w.1}$ і $c_{w.2}$ – концентрація рідини, що дифундує, на рівні “0” та на рівні “ h ” поверхонь шару гелю, $\text{моль} \cdot \text{м}^{-3}$.

На межі між рідиною та гелевим шаром виконується умова рівноваги фаз, у зв’язку з чим концентрація $c_{w.1}$ пов’язана з рівноважною концентрацією пари поблизу поверхні рідини c_s співвідношенням:

$$c_{w.1} = \frac{c_s}{k_1}, \quad (4)$$

де k_1 – коефіцієнт розподілу на межі фаз.

Поверхнева густина молярного потоку пари рідини в повітрі $j_{\mu.a}$ задовольняє рівнянню масовіддачі:

$$j_{\mu.a} = \beta \cdot (c_a - c_{a,0}), \text{ моль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}, \quad (5)$$

де β – коефіцієнт масовіддачі пари рідини в повітрі.

Кінцеве рівняння для коефіцієнту зменшення потоку пари рідини шаром гелю для стаціонарного режиму має вигляд:

$$K = 1 + 5.0 \cdot 10^4 \cdot \frac{h}{\delta} = 1 + 5.0 \cdot 10^4 \cdot \text{Nu}_D \cdot \frac{h}{l}. \quad (6)$$

де Nu_D – дифузний критерій Нуссельта, l – характерний просторовий розмір

задачі.

Оскільки мінімальне значення $Nu_D \sim 1$, то зі співвідношення (6) отримаємо, що за характерних розмірів поверхонь $l \sim 10$ м гальмуюча дія гелевого шару для процесу випаровування є ефективною вже за його товщини $h \sim 1$ мм навіть у стаціонарному режимі. Так для шару гелю товщиною $h = 2 \cdot 10^{-3}$ м коефіцієнт уповільнення випаровування становить 11, а час досягнення стаціонарного режиму 2 години.

Для меншого часу ніж час досягнення стаціонарного режиму було проведено експериментальне дослідження швидкості випарування ГР як з вільної поверхні рідини, так і з поверхні рідини з шаром гелю. В ході цих досліджень встановлено, що для вуглеводневих рідин коефіцієнт уповільнення випарування тонким суцільним гелевим шаром з поверхневою витратою $(0,13 \div 0,14)$ г/см² перевищує 25. Температура мало впливає на коефіцієнт сповільнення випарування. З часом ізолюючі властивості гелевих шарів зменшуються суттєво для тонких шарів і незначно для товстих шарів.

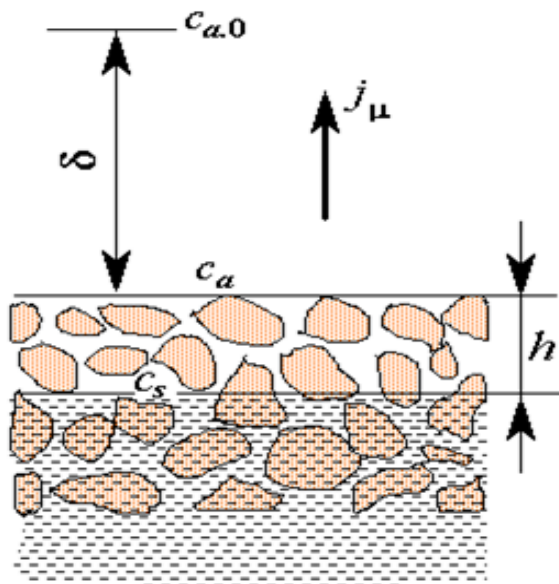
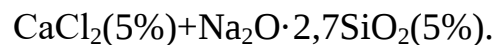


Рис. 2. Просторова схема задачі переносу пари рідини крізь шар гранульованого покриття

Також встановлено, що коефіцієнт уповільнення випаровування пари горючих рідин мало змінюється зі складом гелю. Тому в якості вогнегасного гелеутворюючого складу обрано систему з найменшим вмістом гелеутворювача й каталізатора гелеутворення:



Для оцінки ізолюючих властивостей шару ПС було проведено математичне моделювання процесу переносу пари горючої рідини крізь такий шар. Схема аналізованої ситуації зображена на рис. 2.

Рівняння стаціонарного масопереносу через пористий шар має вигляд:

$$j_{\mu.g} = \frac{D_g}{h} (c_s - c_a), \quad (7)$$

де $j_{\mu.g}$ – густина молярного потоку пари пального крізь шар гранул, в розрахунку на одиницю площі шару, моль·м⁻²·с⁻¹; D_g – коефіцієнт дифузії пари

крізь шар гранул, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$; h – товщина шару, м; c_s – рівноважна концентрація пари біля поверхні рідини, $\text{моль} \cdot \text{м}^{-3}$; c_a – концентрація пари у повітрі на межі з шаром гранул, $\text{моль} \cdot \text{м}^{-3}$.

Поверхнева густина молярного потоку пари рідини у повітрі $j_{\mu,a}$ задовольняє рівнянню масовіддачі:

$$j_{\mu,a} = \beta \cdot (c_a - c_{a,0}), \quad (8)$$

де $c_{a,0}$ – концентрація пари рідини у повітрі (в ядрі газової фази) на відстанях, що перевищують ширину перехідної області δ ; β – коефіцієнт масовіддачі пари рідини у повітрі, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

На момент виходу процесу випаровування рідини на стаціонарний режим величина коефіцієнту уповільнення випаровування шаром гранул прийме значення:

$$K_g = 1 + \frac{h}{\delta} \cdot \frac{D_a}{D_g} \geq K_{g,\min} = 1 + \frac{h}{\delta} \cdot \frac{1}{r_v} \cdot \left(\frac{l_m}{h} \right)^2 = 1 + 8 \cdot \frac{h}{\delta} = 1 + 8 \cdot \text{Nu}_D \frac{h}{l}, \quad (9)$$

де l – характерний просторовий розмір задачі, м.

За мінімальних значень $\text{Nu}_D \sim 1$ та характерного розміру поверхні $l \sim 1$ м гальмуюча дія шару гранул на дифузію пари октану в стаціонарному режимі за товщини шару піноскла над поверхнею рідини $h = 0,1$ м становить 1,8, а за товщини 0,25 м становить 3,0. До утворення стаціонарного режиму коефіцієнт уповільнення перевищує цю мінімальну величину.

Час виходу на стаціонарний режим оцінювався за співвідношенням:

$$\tau_g = 1,25 \cdot 10^2 \cdot h^2, \quad (10)$$

де h – товщина шару гранульованого пористого покриття, що знаходиться вище рівня рідини, см. Він становить 0,87 години для товщини шару 5 см і 3,5 години для товщини шару 10 см.

Для меншого часу ніж час досягнення стаціонарного режиму було проведено експериментальне дослідження швидкості випарування ГР як з вільної поверхні рідини, так і з поверхні рідини з шаром гранульованого матеріалу.

Залежності масової швидкості випаровування бензину від товщини шару піноскла наведені на рис. 3.

Аналіз експериментальних даних ізолюючих властивостей шару ПС дозволяє зробити висновок, що гранульоване піноскло крім виконання функції забезпечення плавучості шару гелю, дає істотний внесок у зменшення швидкості випаровування бензину. Але порівняння результатів з ізолюючої дії шарів гелю і ПС дозволяє констатувати, що ізолююча здатність суцільного гелевого шару перевищує ізолюючу здатність шару піноскла більше ніж на два

порядки.

Також було проведено теоретичну оцінку охолодження ГР сухим піносклом та експериментальне визначення цієї характеристики на прикладі додекану ($C_{12}H_{26}$).

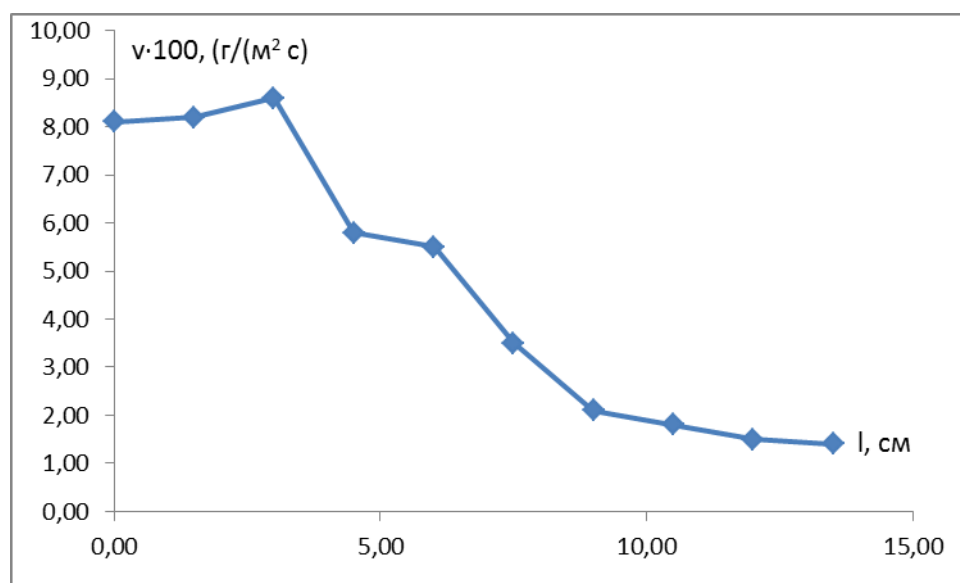


Рис. 3. Залежність масової швидкості випаровування бензину (v) від товщини шару гранульованого піноскла (l)

Для умови потрапляння холодного ПС у рідину рівняння теплового балансу буде мати вигляд:

$$c_{nc} \cdot m_{nc} \cdot (T_2 - 20) = (c_o \cdot m_o + c_z \cdot m_z) \cdot (T_1 - T_2) \quad (11)$$

де c_{nc} , c_o , c_z – питомі теплоємності піноскла, додекану та заліза; m_{nc} , m_o , m_z – маси піноскла, додекану та заліза; T_1 і T_2 – початкова та кінцева температури додекану.

Порівняння експериментальних та розрахункових даних з охолоджуючої дії сухого ПС, дозволяє зробити висновок про їх задовільний збіг (різниця $\sim 1^\circ C$). Але в разі змоченого ПС теоретично розраховані та експериментальні дані відрізнялися на кілька десятків градусів. Основним фактором який ускладнює проведення теоретичного розрахунку охолоджуючої дії змоченого піноскла є процес виділення частини води з пор ПС під час їх занурення у верхній нагрітий шар ГР з наступним опусканням в нижні шари рідини. Цей процес візуально спостерігався в дослідях з засипання змоченого ПС в розігріті ГР, які знаходились в скляних ємностях.

Проведені експериментальні дослідження охолоджуючої дії змоченого ПС дозволило встановити, що змочене піноскло знижує температуру верхнього шару горючих рідин в $3,9 \div 5,5$ разів більше ніж сухе піноскло.

Розглянуто процес охолодження верхнього шару рідини в палаючому резервуарі в динаміці процесу при внесенні гранул сухого піноскла. При цьому

товщина шару піноскла над поверхнею рідини h_1 і під поверхнею h_2 (рис. 4) будуть пов'язані співвідношенням

$$h_1 \rho_{nc} = h_2 (\rho_{zp} - \rho_{nc}), \quad (12)$$

де ρ_{nc} – густина піноскла; ρ_{zp} – густина горючої рідини, $\rho_{nc} < \rho_{zp}$. Позначаючи $h = h_1 + h_2$ – загальну товщину шару піноскла, і підставляючи її в нерівність (1), отримуємо:

$$h_1 = h \frac{\rho_{zp} - \rho_{nc}}{\rho_{zp}}; \quad h_2 = h \frac{\rho_{nc}}{\rho_{zp}}. \quad (13)$$

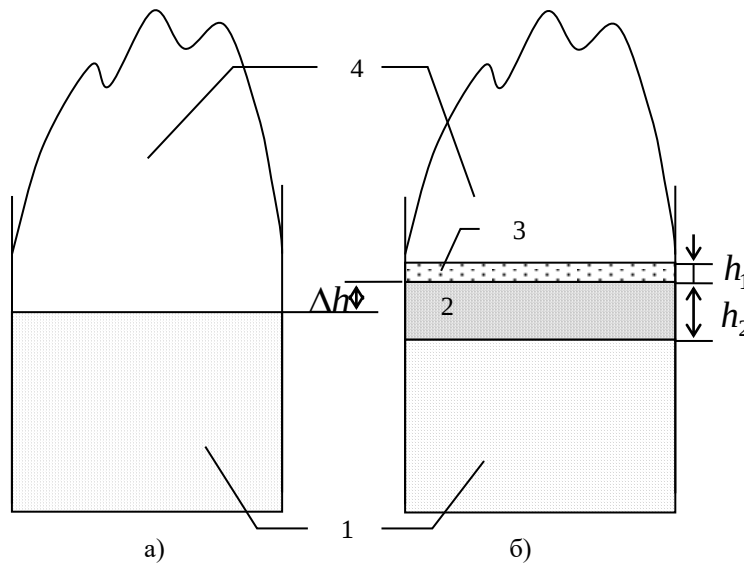


Рис. 4. Горіння рідини в резервуарі: а) до подачі гранул піноскла; б) після подачі гранул піноскла; 1 – горюча рідина; 2 – шар піноскла під поверхнею рідини; 3 – шар піноскла над поверхнею рідини; 4 – полум'я

Внаслідок витіснення рідини піносклом, її рівень піднімається на величину Δh , значення якої визначається співвідношенням:

$$\Delta h = h_2 \frac{\rho_{nc}}{\rho_{zp}} = h \frac{\rho_{nc}}{\rho_{zp}}. \quad (14)$$

Таким чином, подача гранул піноскла призводить до того, що поверхневий шар рідини товщиною

$$h_2 - \Delta h = h \frac{\rho_{nc}}{\rho_{zp}} - h \frac{\rho_{nc}}{\rho_{zp}} = h \frac{\rho_{nc} - \rho_{nc}}{\rho_{zp}} \quad (15)$$

збільшується до товщини

$$h_2 = h \frac{\rho_{nc}}{\rho_{cp}}.$$

Кінцеве рівняння для безрозмірної температури верхнього шару рідини, яка горить з утворенням гомотермічного шару за рахунок перемішування мас вигляд:

$$\bar{\theta}_2 = 1 - \operatorname{erf}(H_2) + \frac{1}{H_2 \sqrt{\pi}} (1 - \exp[-H_2^2]), \quad (16)$$

де $\theta_1 = \frac{T - T_0}{T_{zom} - T_0}$, H_2 – безрозмірна товщина шару піноскла:

$$H_2 = \frac{h_2 - \Delta h}{2\sqrt{a_{cp} t}} = \frac{h}{2\sqrt{a_{cp} t}} \frac{\rho_{nc} - \rho_{ncn}}{\rho_{cp}}.$$

Аналіз залежності рівняння (16), наведеної на рис. 5, свідчить, що зі збільшенням шару піноскла температура верхнього шару рідини монотонно спадає, асимптотично наближуючись до температури навколишнього середовища T_0 .

Якщо температура гасіння рідини T_z більше температури навколишнього середовища, то при достатній товщині шару піноскла, гасіння рідини відбувається внаслідок охолодження верхнього шару рідини за рахунок перемішування рідини та наступного теплообміну.

Розрахунки, які проведено для ряду індивідуальних алканів, показали що їх гасіння може бути досягнуто за рахунок засипання сухого ПС починаючи з декану.

Залежність температури поверхневого шару декану з часом наведено на рис. 6.

Аналіз залежностей на рис. 6 свідчить, що протягом 80 с поверхневий шар горючої рідини охолоджується до температури $T = 46^\circ\text{C}$, що менше температури гасіння. Внаслідок цього відбувається гасіння декану.

Для оцінки ізолюючих властивостей шару ПС з нанесеним на нього шаром гелю було проведено моделювання процесу перенесення пари рідини через двошаровий матеріал. Просторова схема аналізованої ситуації зображена на рис. 7.

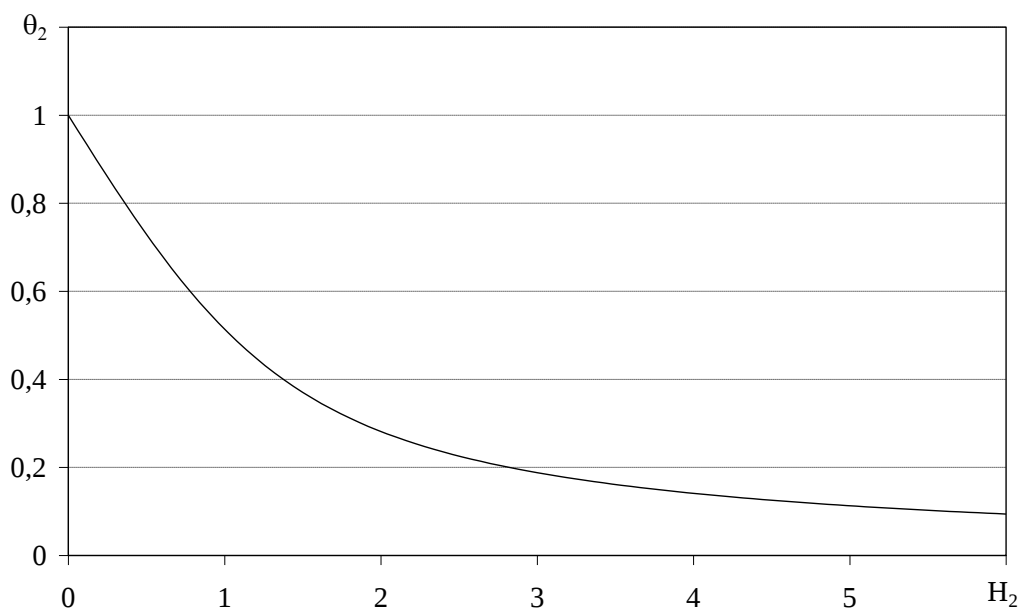


Рис. 5. Залежність безрозмірної температури шару рідини між гранулами піноскла від безрозмірної товщини шару піноскла

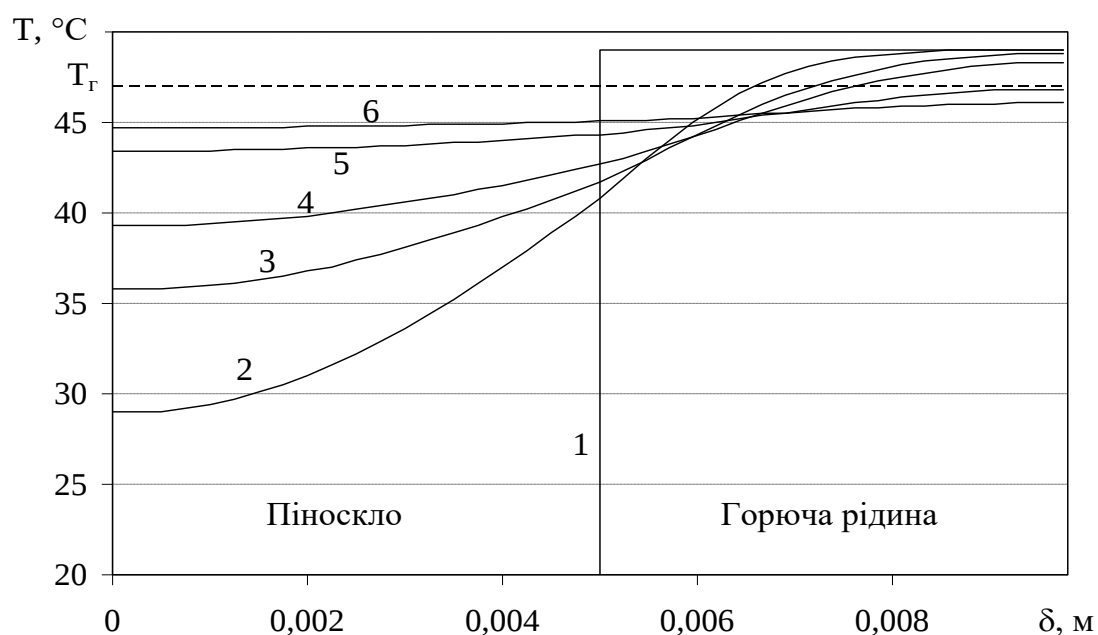


Рис. 6. Розподіл температури в піносклі та поверхневому шарі рідини в часі: 1 – $t = 0$ с; 2 – $t = 10$ с; 3 – $t = 20$ с; 4 – $t = 30$ с; 5 – $t = 60$; 6 – $t = 80$ с; діаметр гранул $D = 1$ см; загальна товщина шару, $h = 15$ см. Початкова температура піноскла $T_0 = 20$ °C

Кінцеве рівняння для коефіцієнту зменшення потоку пари рідини бінарним шаром “ПС + гель” для стаціонарного режиму має вигляд

$$K = 1 + k_2 \cdot \frac{h_g}{\delta} \cdot \frac{D_a}{D_g} + \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{h}{\delta} \cdot \frac{D_a}{D_{gr}}. \quad (17)$$

де D_g, D_a, D_{gr} – коефіцієнти дифузії пари в гелі, повітрі та в повітрі крізь шар гранул, k_1 і k_2 – значення коефіцієнтів розподілу у відповідній межі.

На основі рівняння (17) для товщини шару ПС 5 см і товщині суцільного шару гелю 2 мм оцінено коефіцієнт сповільнення випарування октану при досягненні стаціонарного режиму. Він дорівнює 101,4. Час настання стаціонарного режиму було оцінено рівним 2 години.

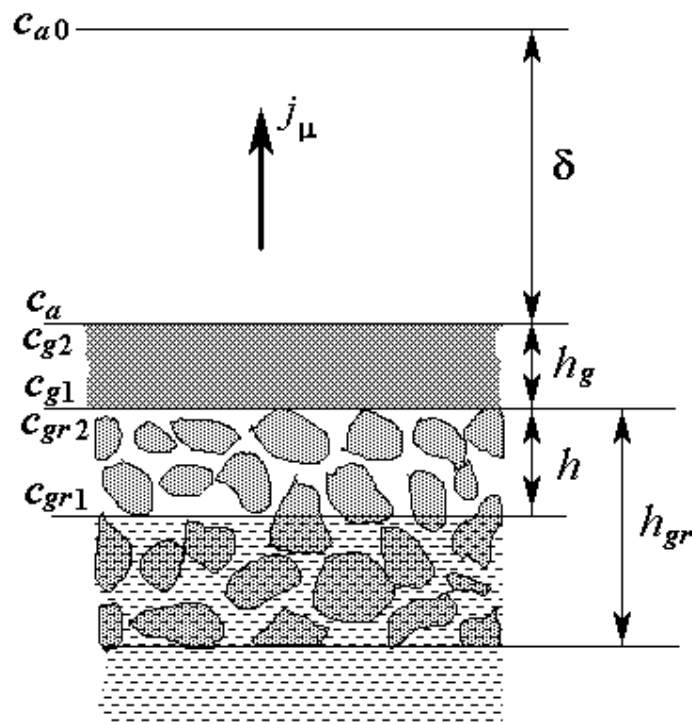


Рис. 7. Просторова схема задачі переносу пари горючої рідини крізь двохшаровий матеріал “гель - піноскло”

Для меншого часу, ніж час досягнення стаціонарного режиму, було проведено експериментальне дослідження швидкості випарування ГР як з вільної поверхні рідини, так і з поверхні рідини з бінарним шаром “ПС + гель”. В якості кількісної характеристики зменшення швидкості випарування були розраховані коефіцієнти уповільнення випарування:

$$K = \frac{V_{\text{вип}}}{V_{\text{вип(гель)}}} = \frac{\Delta m}{\Delta m_{\text{гель}}} \quad (18)$$

де $V_{\text{вип}}$ – швидкість випарування з вільної поверхні, $V_{\text{вип(гель)}}$ – швидкість

випаровування крізь бінарний шар “ПС + гель”, Δm – зміна маси рідини в умовах випаровування з вільної поверхні, $\Delta m_{\text{гель}}$ – зміна маси рідини в умовах випаровування крізь бінарний шар “гель + ПС”.

Величини коефіцієнту уповільнення випарування бензину при товщині товщині шару ПС 4 см для різних поверхневих витрат гелю наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Вплив поверхневої витрати гелю (Φ), нанесеного на шар ПС, товщиною 4 см, на коефіцієнт уповільнення випаровування (K)

Φ г/см ²	0	0,26	0,39	0,47	0,63	0,81
K	1	3,6	4,5	10,2	22,4	31,1

Аналіз наведених даних дозволяє зробити висновок, що при нанесенні шару гелю на поверхню шару ПС, коефіцієнт уповільнення випаровування швидко збільшується. При наближенні поверхневої витрати гелю, що забезпечує утворення суцільного шару, коефіцієнт уповільнення випаровування перевищує 20. У разі утворення суцільного шару, коефіцієнт уповільнення перевищує 30.

У четвертому розділі “Експериментальне визначення вогнегасних характеристик систем на основі пористих матеріалів і гелеутворюючих систем” наведено результати з визначення масової швидкості вигорання ГР та умов їх згасання під дією компонентів системи “ПС + гель”.

Спочатку дослідження було проведено на лабораторних модельних вогнищах пожежі класу В малих розмірів. Масова швидкість вигорання розраховувалась за рівнянням:

$$V = \frac{\Delta m}{\tau \cdot S}, \quad (19)$$

де Δm – зміна маси рідини під час горіння, г; τ – час горіння, с; S – площа поверхні рідини, м².

На рис. 8 і 9 наведено залежності масової швидкості вигорання алканів і технічних ГР від товщини шару сухого ПС.

На рис. 10 наведені графіки залежності необхідної для припинення горіння товщини шару сухого ПС без додаткової подачі ГУС (лабораторне модельне вогнище пожежі).

Залежність, що наведено на рис. 10 була апроксимована рівнянням:

$$h_{\text{заг}} = -4,02 \cdot 10^{-08} t_{\text{cn}}^3 + 1,64 \cdot 10^{-05} t_{\text{cn}}^2 - 2,23 \cdot 10^{-03} t_{\text{cn}} + 0,150, \text{ м.} \quad (20)$$

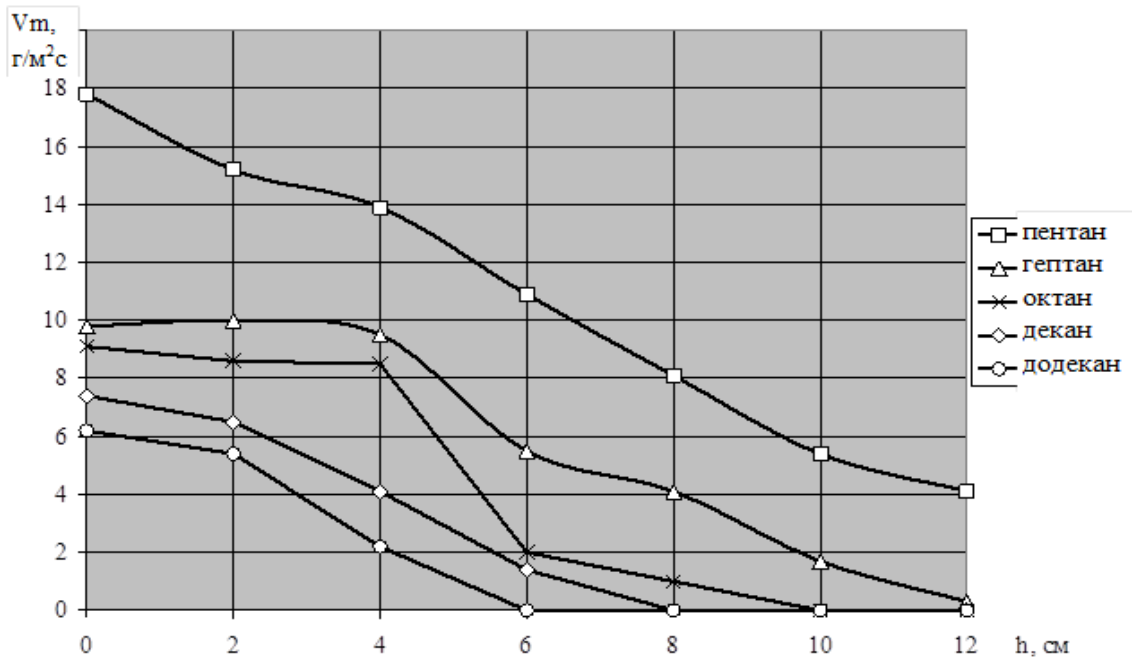


Рис. 8. Залежність масової швидкості вигорання алканів від товщини шару сухого ПС (лабораторне модельне вогнище)

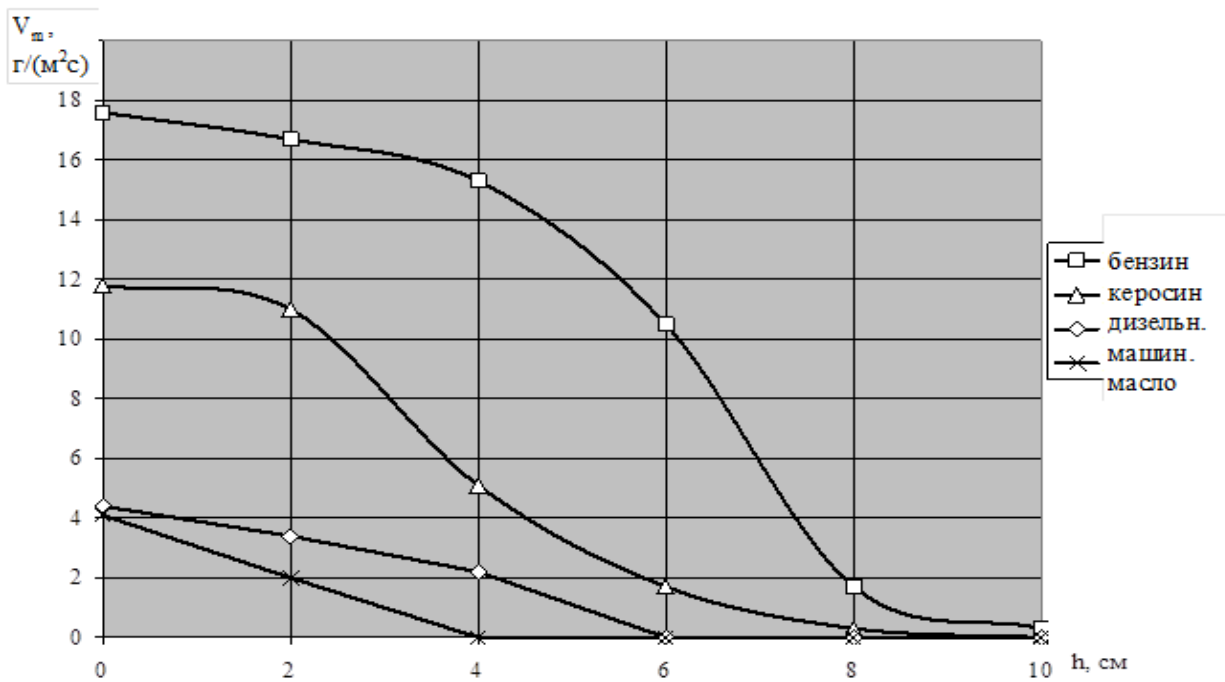


Рис. 9. Залежність масової швидкості вигорання ГР від товщини шару сухого ПС (лабораторне модельне вогнище)

Для якісної оцінки впливу змоченого ПС на інтенсивність горіння ГР було запропоновано якісну шкалу характеру горіння рідин (табл. 3).

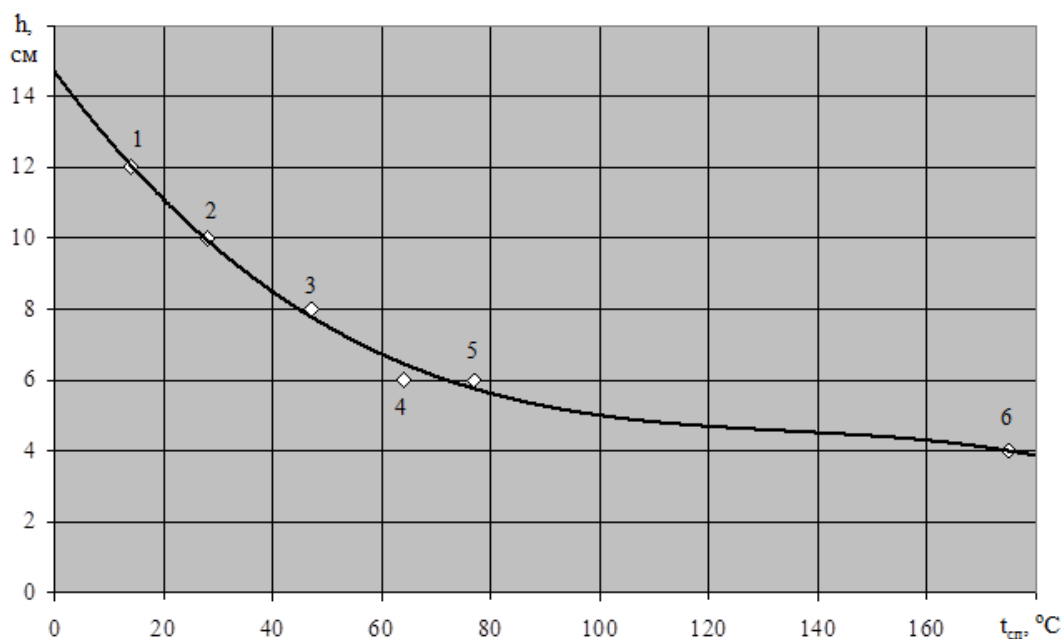


Рис. 10. Залежності необхідної для припинення горіння ГР товщини шару сухого ПС без додаткової подачі ГУС (лабораторне модельне вогнище пожежі): 1 – октан; 2 – гас; 3 – декан; 4 – дизельне паливо; 5 – додекан; 6 – машинне масло I-20

Таблиця 3

Якісна шкала характеру горіння рідин без шару змоченого ПС

Бали	Характеристика полум'я
5	дуже сильне горіння – висота полум'я близька до висоти полум'я (без шару змоченого ПС)
4	сильне горіння – висота полум'я близька до $\frac{1}{2}$ висоти полум'я (без шару змоченого ПС)
3	помірне горіння – висота полум'я близька до $\frac{1}{10}$ висоти полум'я (без шару змоченого ПС)
2	слабке горіння – висота полум'я менше $\frac{1}{10}$ висоти полум'я (без шару змоченого ПС)
1	дуже слабке горіння – висота полум'я менше $\frac{1}{10}$ висоти полум'я (без шару змоченого ПС) і полум'я охоплює менше $\frac{1}{2}$ поверхні ПС
0	повне загасання полум'я

В табл. 4 наведено оцінки гасіння ГР змоченим ПС за шестибальною шкалою.

Таблиця 4

Оцінка результатів гасіння горючих рідин подрібненим змоченим піносклом на лабораторному модельному вогнищі пожежі за шестибальною шкалою

Горюча рідина	Якісна оцінка характеру горіння за товщини шару ПС, см								
	2 см	3 см	4 см	5 см	6 см	7 см	8 см	10 см	12 см
Бензин	5	—	5	—	5	—	4	3	2*
Уайт-спірит**	5	—	5	—	4	—	3	2	1*
Октан	5	3	4	—	2	—	1*	0	—
Гас	5	3	4	3	2*	1*	0	—	—
Декан	5	3	4	3	2*	0	—	—	—
Дизельне паливо	4	2	1*	0	—	—	—	—	—
Додекан	3	1*	0	—	—	—	—	—	—
Машинне масло	1*	0	—	—	—	—	—	—	—

“*” – гасіння відбувається після подачі ГУС з поверхневою витратою 0,2 г/см²;

“**” – температура спалаху “-10°C”;

На рис. 11 наведені графіки залежності необхідної для припинення горіння товщини шару сухого і змоченого ПС без додаткової подачі ГУС і з подачею ГУС. На цьому рисунку не наведено даних для бензину та уайт-спіриту, гасіння яких не було досягнуто сухим та змоченим піносклом без додаткової подачі ГУС.

На рис. 11 також наведено залежності які розраховані на основі відповідної апроксимації рівнянням вигляду:

$$h_{\text{заг}} = h_0 + \left(\frac{273}{T_{\text{сн}}} \right)^k + h_b, \text{ м}; \quad (21)$$

де k – коефіцієнт, пов’язаний з охолоджуючою та ізолюючою дією ПС; h_0 – базовий шар ПС для гасіння горючих рідин, м; h_b – нормувальний коефіцієнт, який показує значення додаткового шару ПС для гасіння рідини з $T_{\text{сн}} = 273 \text{ К}$, м; $T_{\text{сн}}$ – температура спалаху рідини, К.

Аналогічні дослідження було проведено з використанням стандартного модельного вогнища пожежі 2В (рис. 12) з використанням ПС різного гранулометричного складу і модифікованого стандартного модельного вогнища пожежі 8В (рис. 13).

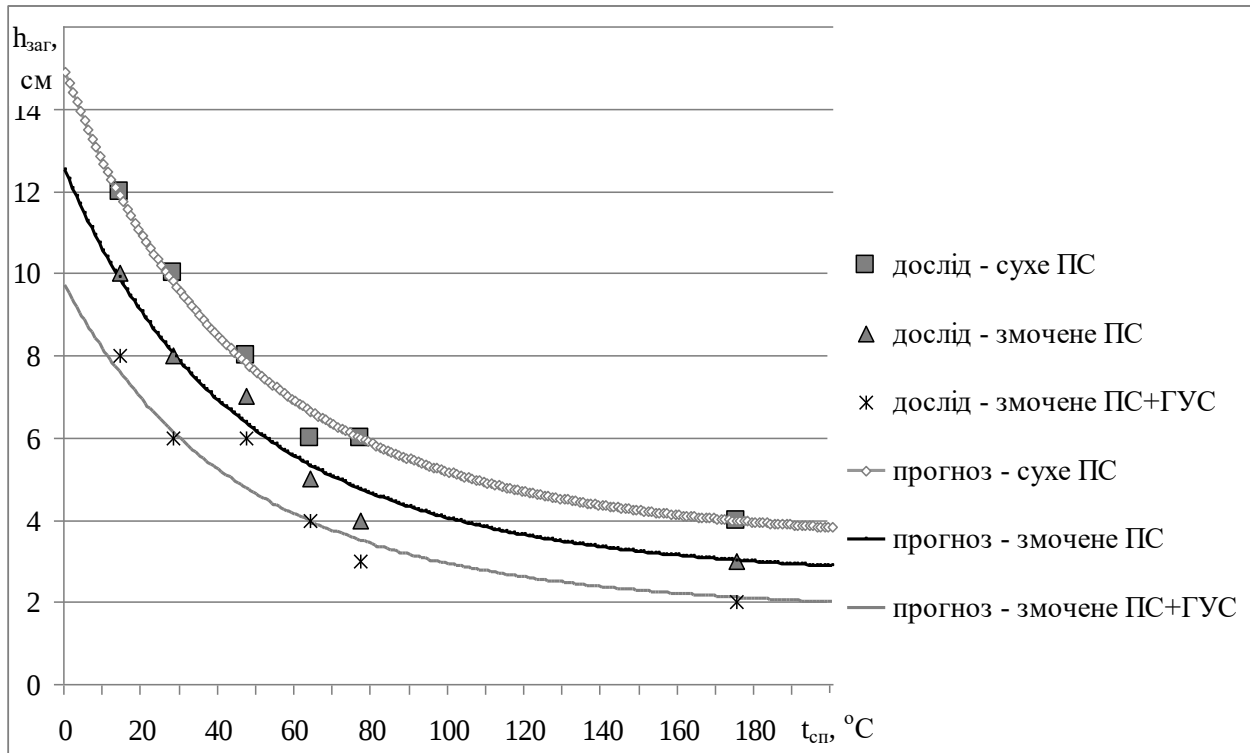


Рис. 11. Залежність необхідної для припинення горіння ГР товщини вогнегасного шару ПС від температури спалаху рідин на лабораторному модельному вогнищі пожежі класу В для сухого та змоченого ПС без подачі та з подачею ГУС

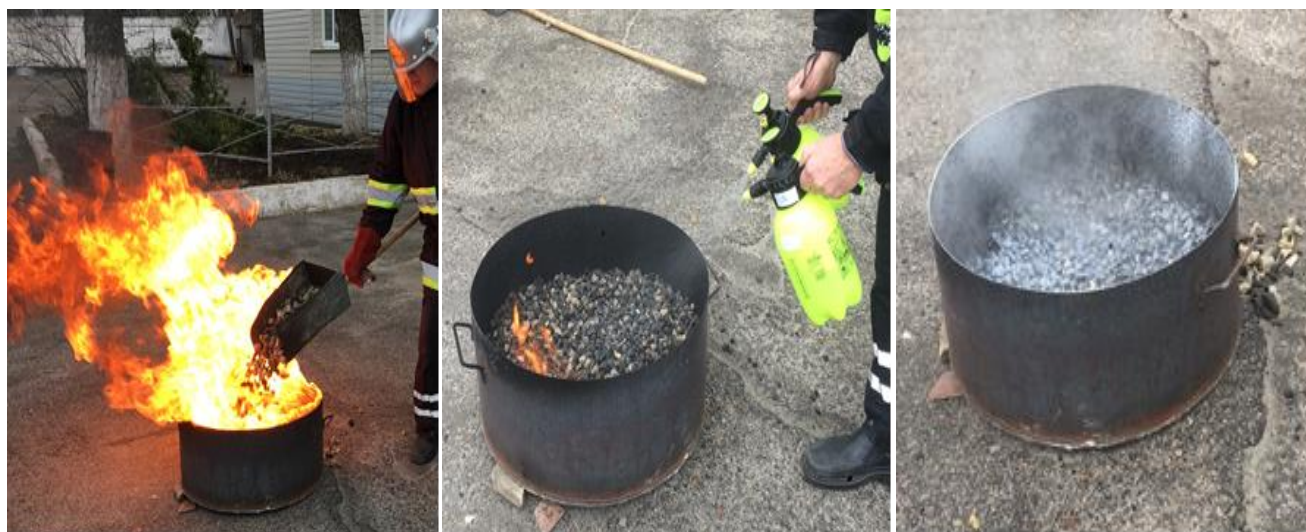


Засипання змоченого ПС.

Слабке горіння.

Повне погасання.

Рис. 12. Етапи гасіння уайтспіриту сухим ПС (стандартне модельне вогнище пожежі 2В)



Подавання першої порції
ПС.

Подавання ГУС.

Повне загасання.

Рис. 13. Етапи гасіння бензину сухим ПС (модифіковане модельне вогнище пожежі 8В)

Результати гасіння ГР подрібненим піносклом (сухим/змоченим) за шестибальною шкалою в стандартному модельному вогнищі пожежі 2В наведено табл. 5.

На рис. 14 наведені графічні залежності необхідної для припинення горіння товщини шару сухого і змоченого ПС без додаткової подачі ГУС від температури спалаху.

Таблиця 5

Оцінка результатів гасіння горючих рідин подрібненим піносклом (сухим/змоченим) за шестибальною шкалою в стандартному модельному вогнищі пожежі 2В

Горюча рідина	Якісна оцінка характеру горіння за товщини шару ПС						
	2 см	4 см	6 см	8 см	10 см	12 см	14 см
Бензин	5/5	5/5	5/5	4/4	3**/3	3*/2*	2*/2*
Уайт-спірит	5/5	5/5	5/4	4/3	3/2	3*/2*	2*/2*
Гас	5/5	4/4	3/2	2/1*	1*/0	0/0	—
Дизельне паливо	5/5	3/0	2*/—	1*/—	0/—	—	—
Машинне масло І-20**	4/2	2*/0	0/0	—	—	—	—

* – гасіння відбувається після подачі ГУС з поверхневою витратою 0,2 г/см²;

** – гасіння відбувається при товщині шару змоченого ПС 3 см.

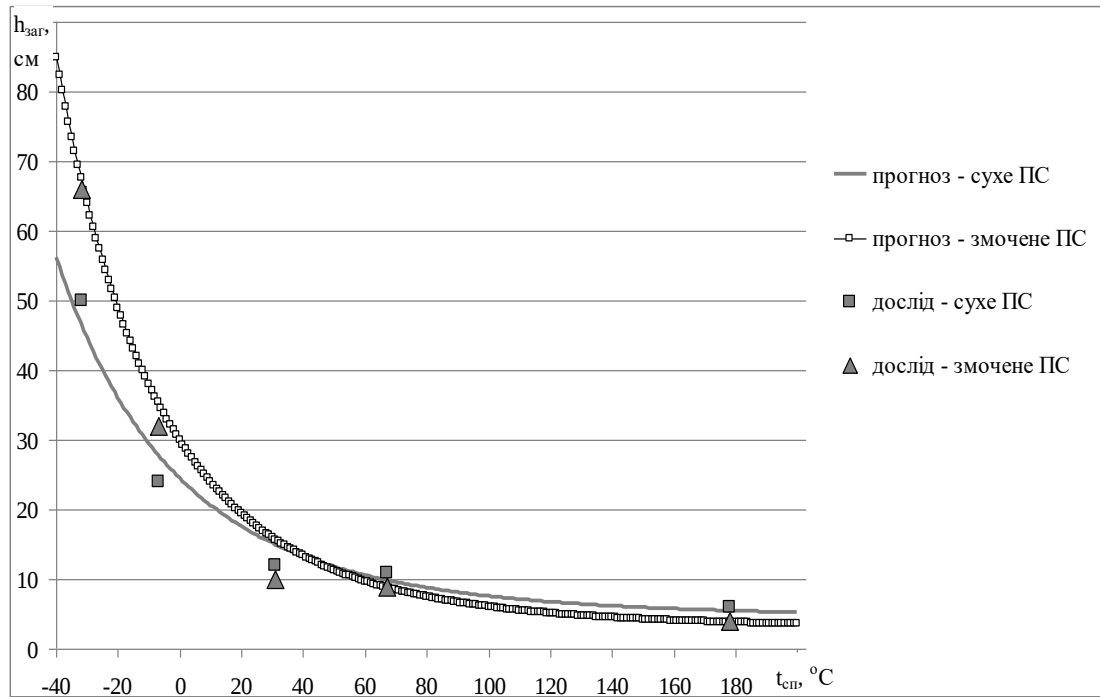


Рис. 14. Залежність вогнегасного шару сухого та змоченого піноскла від температури спалаху рідин ряду алканів при гасінні модельного вогнища 2В.

Аналіз отриманих експериментальних результатів з гасіння модельних вогнищ пожежі класу В дозволяє зробити наступні висновки:

- запропонований для забезпечення плавучості шару гелю в горючих рідинах легкий негорючий носій – гранульоване піноскло, дозволяє зменшити масову швидкість вигорання ГР в десятки разів;
- найкращі вогнегасні властивості має подрібнене піноскло з розміром гранул (1÷1,5) см;
- гасіння усіх легкозаймистих рідин з температурою спалаху меншою за 30°C доцільно здійснювати сухим ПС;
- зменшити загальну товщину шару сухого ПС за умови гасіння легкозаймистих рідин можна за рахунок використання ГУС з поверхневою витратою 2 кг/м² при нанесенні на несучий шар ПС товщиною (10÷14) см;
- в разі гасіння ГР з температурою спалаху більшою за 60°C перевагу має змочене ПС;
- в інтервалі температур спалаху (30÷60)°C вогнегасні характеристики сухого та змоченого ПС близькі.

Крім гасіння ГР в резервуарах було експериментально досліджено гасіння розливів таких рідин на всмоктуючі поверхні. Результати цих дослідів дозволили зробити такі висновки:

- при гасінні розливів ГР на всмоктуючі поверхні більш ефективним є використання тільки ГУС;
- поверхнева витрата ГУС, яка потрібна для припинення горіння піску, яке змочене бензином, достатньо забезпечити поверхневу витрату ГУС 2 кг/м² без попереднього нанесення ПС.

У п'ятому розділі “Розробка теорії та апаратурно-технічного забезпечення використання вогнегасних негорючих пористих матеріалів для гасіння горючих рідин” представлені результати розробки засобів подачі гранульованого ПС на гасіння резервуарів з ГР.

На основі аналізу існуючих засобів транспортування легких та сипких матеріалів в якості подачі гранульованого ПС обрано засіб в якому використовується пневмоежекційний спосіб транспортування. На підставі, поставлених перед ежекційним апаратом (ЕА) завдань і умов проведення пожежогасіння ГР було обґрунтовано конструкцію та створено методику розрахунку конструктивно-технологічних параметрів ЕА, що задовольняє наступним вимогам: безперервність дії, забезпечення ефективного подавання піноскла з використанням стисненого повітря гумовотканинними рукавами на відстань до 75 м та малогабаритність. Схема ЕА наведено на рис. 15.

Для проведення експериментальних натурних досліджень повітряно-ежекційного способу подачі гранул легких негорючих пористих матеріалів на поверхню палаючого нафтопродукту була створена спрощена масштабна модель ЕА з такими вихідними параметрами:

- дальність подачі – 5 м;
- витрата ПС – 5 дм³/хв.

Розраховані конструктивні (об'ємно-геометричні) розміри ЕА склали:

- довжина робочого сопла подавання енергоносія – 90 мм;
- площа вхідного перетину робочого сопла подавання енергоносія – 1133 мм² (внутрішній діаметр 38 мм., зовнішній діаметр 42 мм.);
- площа вихідного перетину робочого сопла подавання енергоносія – 153 мм² (внутрішній діаметр 14 мм., зовнішній діаметр 18 мм.);
- площа поперечного перерізу камери змішування відповідає площі вхідного перетину камери змішування – 1589 мм² (внутрішній діаметр 45 мм., зовнішній – 49 мм.);
- довжина камери змішування – 450 мм;
- площа вихідного перетину камери змішування – 1808 мм² (внутрішній діаметр 48 мм., зовнішній – 52 мм.).

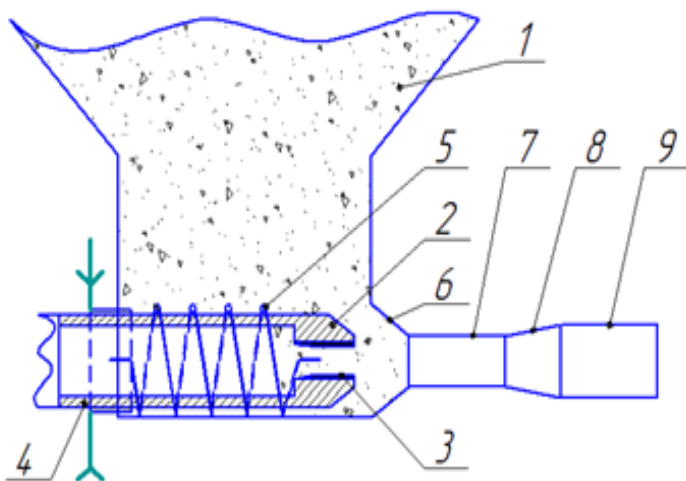


Рис. 15. Схема ежекційної установки: 1 - видатковий бункер піноскла; 2 - порожнистий шнековий дозатор-живильник; 3 - робоче сопло шнекового дозатора-живильника; 4 - привідний частина шнекового дозатора-живильника; 5 - воронітель-живильник пружинного типу; 6 - конфузор; 7 - камера змішування (розгінна трубка); 8 - дифузор; 9 - фланець.

На рис. 16 наведено зовнішній вигляд і внутрішню будову дослідно-експериментального зразка ЕА.



Рис. 16. Зовнішній вигляд (а) і внутрішня будова (б) дослідно-експериментального зразка ЕА

Цей пристрій було спроектовано і виготовлено для експериментальної перевірки прийнятих при проектуванні технічних рішень, також було використано для дослідження розподілу ПС за поверхнею горючої рідини. Нижче наведено експериментально одержані характеристики ЕА малого розміру.

Ствол ЕА розташовувався горизонтально на висоті 0,9 м над рівнем рідини. Дальність подавання ПС склала $\sim 4,6$ м. Розсіювання ПС уздовж осі ствола становила $\sim 0,6$ м, бічне розсіювання $\sim 0,4$ м. Витрата ПС – $4,5 \text{ дм}^3/\text{хв}$. Максимальна висота подачі ПС $\sim 3,0$ м (при куті нахилу 45°). Ці параметри близькі до тих, що закладені у вимогах до ЕА для подавання гранул піноскла на гасіння пожежі класу В малого розміру.

За допомогою розробленого ЕА було проведено дослідження розподілу ПС по поверхні рідини (рис. 17).

Проведені дослідження дозволили зробити наступні висновки:

- на початковому етапі подачі ПС на поверхню рідини воно розподіляється в один шар гранул на поверхні обмеженою стінками резервуара;
- на другому етапі гранули ПС в місці їх падіння формують другий і наступні шари;
- в ході подачі ПС сформувався його шар висотою $(5 \div 10)$ см над рівнем ділянки розміром $(0,4 \div 0,6)$ м;
- візуальна оцінка товщини шару ПС без залучення вимірювальних інструментів не дає задовільних результатів.



Рис. 17. Етапи проведення експерименту за розподілом ПС поверхнею рідини: а – початок подачі; б – поступове заповнення поверхні рідини

Наприкінці розд. 5 було сформульовано рекомендації з подачі гранульованого піноскла при гасінні пожеж резервуарів, які наведено нижче.

Подавання ПС може починатися навіть при відсутності його достатньої для гасіння кількості. Шар піноскла не руйнується під дією впливу різних факторів пожежі. Навіть нанесення тонкого шару ПС знизить інтенсивність горіння.

У випадках суттєвого зменшення інтенсивності горіння після подачі ПС можна виключити подачу води на захист сусідніх резервуарів. А в разі дуже слабкого горіння можна виключити подачу води на охолодження резервуару, що горить.

Подавання гранул ПС в резервуар зверху від ЕА, можна здійснювати за допомогою гнучких матеріалопроводів, встановлених на пожежних автопідйомниках, або техніки, що пристосована для її подавання (пожежних автодрабин, автокранів типу “КАТО”, “ФАУН”, “ЛІБКНЕР”).

На початковому етапі пожежі в разі горіння висококиплячих рідин можна використовувати сухе ПС.

В разі обладнання резервуарів засобами підшарового подавання ПС доцільно подавати його зразу, навіть в разі відсутності потрібної кількості компонентів ГУС.

Інтенсивність подавання ПС не є обмежуючим фактором, тому ПС можна подавати з малою інтенсивністю.

Рішення щодо доцільності й можливості проведення операцій з відкачування (закачування) нафти (нафтопродукту, донної води) із резервуара, що горить і сусідніх резервуарів, приймається також як і у випадку гасіння піною.

В разі утворення “карманів” застосування ПС проводиться також і у випадку використання піни.

У шостому розділі “Рекомендації щодо гасіння пожеж класу В з використанням пористих матеріалів і гелеутворюючих систем” наведено рекомендації щодо використання піноскла і гелеутворюючих систем для гасіння пожеж резервуарів з ГР.

Рекомендації з гасіння пожеж новими вогнегасними засобами повинні базуватися на експериментальних даних з їх вогнегасних властивостей. У разі якщо ці вогнегасні засоби не використовувалися при гасінні реальних пожеж, можна використовувати результати, отримані на модельних вогнищах пожежі з деяким коректуванням. В умовах реальної пожежі важко домогтися рівномірності подавання ВР на поверхню ГР. Для врахування різних умов подавання ВР було введено коригувальний коефіцієнт, який прийнято рівним 1,5.

Крім того, реальні пожежі можуть суттєво відрізнятися за часом вільного горіння від умов горіння модельних вогнищ. Результати, які отримані на модельних вогнищах пожежі класу 2В одержані за умови, що гасіння починається при утворенні лише тонкого поверхневого шару розігрітої рідини. Час вільного горіння регламентується рівним одній хвилині. За такий короткий час горючі рідини прогриваються на глибину менше 1 см. При внесенні ПС на поверхню рідини, що горить, воно забезпечує охолодження на всю глибину верхнього розігрітого шару. В умовах реальної пожежі гасіння може починатися через досить тривалий проміжок часу після початку пожежі. В такому випадку прогрітий шар ГР може складати декілька метрів. Це вимагає внесення додаткових корективів в рекомендації щодо гасіння реальних пожеж в резервуарах з нафтою та нафтопродуктами. Було прийнято, що для забезпечення охолодження верхнього шару висококиплячих рідин достатньо товщини шару змоченого ПС, що знаходиться нижче рівня рідини рівної 10 см (перша умова згасання полум'я ГР).

Крім того було прийнято, що для реалізації ефектів ізоляції та екранування потрібно забезпечити наявність шару ПС вище рівня рідини не меншу ніж одержано в дослідях з гасіння стандартного модельного вогнища пожежі класу 2В (друга умова згасання полум'я ГР). Враховуючи дві умови згасання і коригувальний коефіцієнт 1,5 було розраховано окремі рекомендації для гасіння пожеж резервуарів низькокиплячих і висококиплячих рідин для малого і великого часу вільного горіння. Відповідні значення наведено в таблицях 6-8.

Таблиця 6

Значення поверхневої витрати (Φ) змоченого ПС (h) ($B = 30\%$) необхідної для гасіння висококиплячих рідин за часом вільного горіння більше 5°хв

ГР	Φ , кг/м ² *
Гас	18,5
Дизельне пальне	19,3
Машинне мастило	19,6

“*” – Для насипної густини ПС 100 кг/м³.

Таблиця 7

Значення поверхневої витрати (Φ) сухого ПС і поверхневої витрати ГУС ($\Phi_{\text{гус}}$) які потрібні для гасіння бензину, уайтспіриту і легкої нафти при часі вільного горіння більше 5 хв

Шар	Φ^* кг/м ² ,	$\Phi_{\text{гус}}$, кг/м ²
ПС	21	—
ГУС	—	3

Крім вище розглянутого методу гасіння резервуарів з ГР шляхом подавання гранульованого ПС і ГУС запропоновано одночасне підшарове сумісне подавання вогнегасної піни і пористого матеріалу в нижню частину резервуару. В такому випадку гранули легкого пористого матеріалу спливають разом з піною на поверхню палаючої рідини та припиняють процес її горіння.

Ще одним способом гасіння резервуарів є застосування методу відкачування ГР з палаючих резервуарів з одночасним подаванням на поверхню рідини гранул легких пористих матеріалів. Цей метод доцільно використовувати в разі відсутності або недостатньої кількості компонентів вогнегасної системи “пористий матеріал – ГУС”.

Таблиця 8

Значення поверхневої витрати сухого ПС (Φ_c), змоченого ПС ($B = 30\%$) (Φ_3) і компонентів ГУС ($\Phi_{\text{гус}}$), які потрібні для гасіння рідин з різними температурами спалаху ($t_{\text{сп}}$)

ГР	$t_{\text{сп}}$, °C	Φ_c , кг/м ²	Φ_3 , кг/м ²	$\Phi_{\text{гус}}$, кг/м ²
час вільного горіння менше 5 хвилин				
Бензин, легкі нафти	<28	18	—	3
Гас	28-60	—	15	3
Дизельне паливо	61-100	—	12	—
Машинне мастило	>100	—	9	—
час вільного горіння більше 5 хвилин				
Бензин, легкі нафти	<28	21	—	3
Гас	28-60	—	19	3
Дизельне паливо	61-100	—	19	—
Машинне мастило	>100	—	20	—

Також надані рекомендації з гасіння іншого виду пожеж класу В–розливів ГР на всмоктуючі поверхні. При гасінні таких пожеж необхідно використовувати тільки ГУС з поверхневою витратою $\sim 3 \text{ кг/см}^2$.

На основі рекомендацій проведено розрахунки загальної витрати ПС і компонентів ГУС (без врахування маси води), які потрібні для гасіння резервуару РВС-5000 (табл. 9).

Таблиця 9

Значення загальної витрати ПС ($G_{\text{пс}}$) і компонентів ГУС ($G_{\text{гус}}$), які потрібні для гасіння резервуару РВС-5000

ГР	$G_{\text{пс}}$, т	$G_{\text{гус}}$, т
Бензин, легкі нафти	8,4	1,2
Гас	7,6	1,2
Дизельне паливо	7,6	—
Машинне мастило	8,0	—

На основі одержаних результатів і нормативних параметрів подавання піни проведено порівнянні розрахунки фінансових витрат на компоненти запропонованої вогнегасної системи і плівкоутворювальний піноутворювач “Софір АFFF” в разі гасіння резервуару РВС-5000 (табл. 10).

Таблиця 10

Порівняння фінансових витрат на компоненти вогнегасної системи “ПС+ГУС” ($G_{\text{пс}}$) з витратами на піноутворювач які потрібні для гасіння резервуару РВС-5000

ГР	Фінансові витрати, тис. грн				Відношення ПУ/(ПС+ГУС)
	ПС	ГУС (CaCl_2 +ПС)	Загальні	ПУ	
Бензин, легкі нафти	96,6	$0,63 + 0,84 = 1,47$	98,07	414	4,2
Гас	87,4	$0,63 + 0,84 = 1,47$	88,9	156	1,8
Дизельне паливо	87,4	—	87,4	156	1,8
Машинне мастило	92,0	—	92,0	132	1,4

Аналіз цих даних дозволяє зробити висновок, що запропонована вогнегасна система на основі ПС і ГУС забезпечує зниження фінансових витрат на вогнегасні речовини у випадку гасіння рідин з температурою спалаху нижче

30°C в 4,2 рази порівняно з використанням пін. У випадку гасіння рідин з температурою спалаху вище 30°C ця перевага складає $1,4 \div 1,8$ рази.

Економічна перевага запропонованої вогнегасної системи підвищується завдяки можливості багаторазового використання ПС після гасіння світлих нафтопродуктів.

Ще однією економічною перевагою вогнегасної системи “ПС + ГУС” є відсутність забруднення ГР її компонентами, що полегшує їх подальшу переробку і використання.

Також в розд. 6 розглянуто токсикологічні, екологічні та експлуатаційні характеристики компонентів вогнегасних систем на основі пористих матеріалів і гелеутворюючих систем. В ньому також наведені процедури приготування робочих розчинів компонентів ГУС і контролю їх якості. Для контролю якості запропоновано використовувати методи денсиметрії, вимірювання в'язкості, рН-метрії та кислотно-основного титрування.

Відмічено, що однією з умов успішного використання ГУС з метою пожежогасіння є роздільно-одночасне подавання компонентів системи в розпиленому вигляді. Для проведення експериментальних досліджень впливу режимів подавання ГУС на результати гасіння пожеж класу В було запропоновано використовувати автономні установки гасіння гелеутворюючими системами “АУТГУС” і “АУТГУС-П”. Для гасіння великих резервуарів і великих за площею розливів запропоновано використовувати такі засоби подачі ГУС, які забезпечують більшу дальність подавання ВР і велику витрату ВР. До таких засобів подавання відносяться стволи-розпилювачі або стволи з комбінованими насадками (РС-Ам, РС-Бм, РСК-50, НРТ-5, НРТ-10, НРТ-12, РВ-12)

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеним дослідженням, одержані нові науково обґрунтовані результати, які у сукупності забезпечують вирішення актуальної науково-прикладної проблеми у сфері пожежної безпеки, що полягає в подоланні недосконалості існуючих методів ліквідування пожеж горючих рідин за рахунок використання нових більш ефективних засобів гасіння твердими пористими матеріалами та гелеутворюючими системами.

1. Вперше на основі аналізу основних механізмів припинення горіння запропоновано метод гасіння пожеж горючих рідин з використанням легких негорючих пористих матеріалів і гелеутворюючих систем, що забезпечує довготривалу стійкість вогнегасного шару до термічного впливу та його високі охолоджуючі та ізолюючі властивості.

2. Обґрунтовано застосування гранульованого піноскла в якості вогнестійкого матеріалу, що забезпечує плавучість вогнегасного шару та прийнятні екологічні та економічні параметри. Плавучість сухого піноскла в горючих рідинах змінюється в інтервалі $0,36 \div 0,58$. Для збільшення охолоджуючої дії вперше запропоновано використовувати змочування гранул

пористого матеріалу водою. Теоретично визначено та експериментально підтверджено відсутність унесення гранул піноскла такого розміру висхідними потоками палаючої рідини.

3. Обґрунтовано застосування в якості ізолюючого матеріалу гелевого шару, який, утворюється за допомогою гелеутворюючих систем $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$.

4. Розроблено математичні моделі які дозволяють оцінити ізолюючі властивості шарів твердого пористого матеріалу, гелю та бінарного шару “пористий матеріал + гель” у випадку встановлення стаціонарного режиму процесу дифузії пари ГР крізь ці шари. На їх основі встановлено, що ізолююча здатність суцільного гелевого шару перевищує ізолюючу здатність шару піноскла більше ніж на два порядки. У разі утворення суцільного шару гелю на поверхні піноскла коефіцієнт уповільнення випаровування для вуглеводневих рідин перевищує 30. На основі результатів математичного моделювання процесу випарування пари рідини крізь бінарний ізолюючий шар, що складається з гелю, який нанесено на поверхню піноскла, встановлено, що за товщини шару гелю 2 мм та шару піноскла 5 см швидкість випарування октану зменшується більше ніж у 100 разів порівняно зі швидкістю випарування з вільної поверхні.

5. На основі розробленої математичної моделі охолоджуючої дії сухого піноскла встановлено, що сухе піноскло може припинити горіння висококиплячих рідин без застосування гелеутворюючих систем.

6. Розроблено експериментальні методи визначення охолоджуючих та ізолюючих властивостей шарів твердого пористого матеріалу, гелю і бінарного шару “гель + піноскло”. За допомогою цих методів експериментально визначені охолоджуючі властивості сухого і змоченого піноскла та бінарного шару “гель + піноскло”. Встановлено, що охолоджуючі властивості змоченого піноскла в $3,9 \div 5,5$ рази більше, ніж у сухого піноскла. Експериментально визначені ізолюючі властивості шарів твердого пористого матеріалу, гелю, і бінарного шару “гель + піноскло”. Встановлено, що шар піноскла завтовшки 10 см уповільнює випаровування ЛЗР в $3 \div 5$ разів, а змоченого піноскла в $2 \div 3$ рази. Експериментально встановлено, що для вуглеводневих рідин коефіцієнт уповільнення випарування тонким суцільним гелевим шаром з поверхневою витратою $(0,13 \div 0,14) \text{ г/см}^2$ перевищує 25.

7. Вдосконалено існуючі експериментальні методи визначення вогнегасних характеристик речовин з урахуванням особливостей запропонованої вогнегасної системи, на основі яких встановлено, що гасіння бензину досягається при товщині шару сухого ПС 12 см з подальшим нанесенням на його поверхню шару гелю з поверхневою витратою $0,2 \text{ г/см}^2$; Гасіння гасу, дизельного палива і машинного масла можна досягти нанесенням змоченого піноскла з товщиною шарів 10, 4 і 3 см відповідно, без додаткового нанесення шару гелю.

8. Найкращі вогнегасні властивості має подрібнене піноскло з розміром гранул $(1 \div 1,5) \text{ см}$. Для такої фракції часток піноскла отримані

найменші значення масової швидкості вигорання, та найменші витрати компонентів вогнегасної системи на припинення горіння ГР.

9. Встановлені залежності товщини шару сухого та змоченого піноскла потрібної для гасіння рідин від температури їх спалаху дають можливість зробити такі висновки: гасіння усіх легкозаймистих рідин з температурою спалаху меншою за 30°C доцільно здійснювати сухим ПС; зменшити загальну товщину шару сухого ПС за умови гасіння легкозаймистих рідин можна за рахунок використання ГУС з поверхневою витратою 0,2 г/см² у разі подавання на несучий шар ПС товщиною (10÷14) см; в разі гасіння ГР з температурою спалаху більшою за 60°C перевагу має змочене ПС; в інтервалі температур спалаху (30÷60)°C сухе та змочене ПС мають близькі вогнегасні характеристики.

10. Вперше в якості засобу для подавання гранульованого піноскла рукавними матеріалопровідними лініями на поверхню палаючої рідини в резервуарі, запропоновано використовувати повітряний ежекційний апарат, який був сконструйований і виготовлена його малорозмірна модель для гасіння пожеж класу В невеликих розмірів.

11. Розроблено практичні рекомендації щодо застосування вогнегасних систем на основі легких пористих матеріалів і гелеутворюючих систем для гасіння пожеж резервуарів з горючими рідинами та розливів таких рідин на всмоктуючі поверхні.

12. Запропонована вогнегасна система на основі гранульованого піноскла і вогнегасних гелеутворюючих систем забезпечує зниження фінансових витрат на вогнегасні речовини у випадку гасіння рідин з температурою спалаху нижче 30°C в 4,2 рази порівняно з використанням пін. У випадку гасіння рідин з температурою спалаху вище 30°C ця перевага складає 1,4÷1,8 рази.

13. Реалізацію висновків і результатів роботи здійснено шляхом використання запропонованої вогнегасної системи для гасіння пожеж класу В в приватному підприємстві “Спецпожтехніка”, що забезпечило зменшення побічних збитків від гасіння порівняно з пожежогасінням вогнегасною піною в 2÷3 рази. У результаті випробувань, що проведено Державною службою Азербайджанської Республіки встановлено, що при гасінні бензину за допомогою піноскла та вогнегасної гелеутворюючої системи не відбувається забруднення нафтопродукту. Також позитивно оцінена можливість впровадження наданих результатів на заводі “Етилен-поліетилен” компанії SOCAR і відмічена економічна ефективність запропонованої вогнегасної системи.

Список публікацій здобувача в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Статті у вітчизняних наукових фахових виданнях

1. Дадашов И.Ф., Киреев А.А., Михеенко Л.А. Выбор лёгкого силикатного носителя для гелевого огнетушащего слоя при пожаротушении // *Керамика: наука и жизнь*. – 2016. – № 2(31). – С. 44-51.
2. Дадашов И.Ф., Киреев А.А., Шаршанов А.Я., Чернуха А.А. Моделирование изолирующих свойств гелеобразного слоя по отношению к парам горючих жидкостей // *Проблемы пожарной безопасности*. – 2016. – Вып. 40. – С. 78-83.
3. Дадашов И.Ф., Киреев А.А., Шаршанов А.Я. Замедление испарения жидкости слоем гранулированного материала, нанесённого на её поверхность // *Проблемы пожарной безопасности*. – 2017. – Вып. 41. – С. 53-58.
4. Дадашов И.Ф. Экспериментальное исследование испарения бензина через слой гранулированного пеностекла // *Проблемы пожарной безопасности*. – 2017. – Вып. 42. – С. 27-31.
5. Дадашов И.Ф. Экспериментальное исследование изолирующих свойств гелеобразного слоя по отношению к парам органических токсичных жидкостей // *Проблемы надзвичайних ситуацій*. – 2017. – Вып. 25. – С. 22-27. (*Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory*).
6. Дадашов И.Ф., Киреев А.А., Шаршанов А.Я., Савченко А.В., Ковалёв А.А. Экспериментальное исследование влияния характеристик гелеобразного слоя на его изолирующие свойства по отношению к парам органических жидкостей // *Проблемы надзвичайних ситуацій*. – 2017. – Вып. 26. – С. 43-48. (*Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus*).
7. Дадашов И.Ф., Киреев А.А. Експериментальне дослідження впливу шару гранульованого піноскла на горіння бензину // *Пожежна безпека*. – 2017. – Вып. 31. – С. 36-42.
8. Дадашов И.Ф., Ковалёв А.А. Обоснование конструкции и методики расчёта конструктивно-технологических параметров эжекционного аппарата применяемого при пожаротушении // *Вісник НТУ “ХПІ”*. – 2017. – № 44(1266). – С. 122-129.
9. Дадашов И.Ф., Лобойченко В.М., Киреев А.А. Сравнительная оценка экологического ущерба при использовании гелеобразующих систем различного состава в пожаротушении горючих жидкостей // *Вісник КрНУ ім. Остроградського*. – 2018. – Вып. 1(108). – С. 123-129.
10. Дадашов И.Ф., Киреев А.А., Жерноклёв К.В., Трегубов Д.Г., Ковалёв А.А. Экспериментальное исследование влияния скорости ветра на изолирующие свойства гелеобразного слоя по отношению к парам токсичных и горючих жидкостей // *Проблемы надзвичайних ситуацій*. – 2018. – Вып. 27. – С. 17-24. (*Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory*).
11. Дадашов И.Ф. Экспериментальное исследование влияния толщины слоя гранулированного пеностекла на горение органических жидкостей // *Проблемы пожарной безопасности*. – 2018. – Вып. 43. – С. 38-44.

12. Дадашов І.Ф., Трегубов Д.Г., Сенчихін Ю.М., Кіреєв О.О. Напрямки вдосконалення гасіння пожеж нафтопродуктів // Науковий вісник будівництва. – 2018. – Т. 94, № 4. – С. 238-249.

13. 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. (*Index Scopus*).

14. Дадашов І.Ф. Експериментальне дослідження охолодження горючої рідини гранулами піноскла // Пожежна безпека. ЛДУБЖД. – 2018. – № 33. – С. 48-52.

15. Дадашов І.Ф. Моделювання охолодження поверхневого шару рідини, що горить, гранулами піноскла // Проблемы пожарной безопасности. – 2018. – Вып. 44. – С. 20-30.

16. Дадашов І.Ф., Ковальов О.О., Хмиров І.М., Поліванов О.Г. Обґрунтування конструкції та методика розрахунку конструктивно-технологічних параметрів ежекційного апарату, застосовуваного під час пожежогасіння // Науковий вісник НЛТУ України. – 2018. – Т. 28, № 11. – С. 101-107.

17. Дадашов І.Ф., Ковальов О.О., Калиновський А.Я., Шевцова О.С., Морозова Г.В. Розрахунок геометричних параметрів ежекційного апарату застосовуваного при пожежогасінні // Комунальне господарство міст. – 2018. – Вип. 7(146). – С. 167-173.

18. Дадашов І.Ф., Киреев А.А., Трегубов Д.Г. Экспериментальное исследование скорости выгорания и условий тушения модельного очага пожара класса Впри поочередном применении гранулированного пеностекла и гелеобразующего огнетушащего вещества // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – 2018. – № 2(6). – С. 70-78.

19. Дадашов І.Ф. Дослідження властивостей вогнегасної системи на основі піноскла // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2018. – Вып. 2(28). – С. 39-56.

Статті у міжнародних фахових виданнях

20. Дадашов І.Ф., Киреев А.А. Повышение эффективности тушения горючих жидкостей в резервуарах путем использования гелеобразующих средств // Proceedings of Azerbaijan state marine academy. – 2016. – № 2. – С. 72-76.

21. Дадашов І.Ф., Киреев А.А. Предварительные компоненты геле- и пенообразующих составов для тушения горючих жидкостей // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 2016. – № 9. – С. 63-65.

22. Dadashov I., Loboichenko V., Kireev A. Analysis of the ecological characteristics of environment friendly fire fighting chemicals used in extinguishing oil products // Pollution Research Paper. – 2018. – V. 37, Issue 1. – P. 63-77. (*Index Scopus*).

23. Дадашов І.Ф., Трегубов Д.Г., Киреев А.А., Тарахно Е.В. Исследование влияния толщины слоя гранулированного пеностекла на горение жидких углеводородов // Вестник Кокшетавского технического института комитета по ЧС МВД республики Казахстан. – 2018. – № 4(32). – С. 47-54.

24. Дадашов И.Ф. Исследование влияния толщины слоя гранулированного пеностекла на горение жидкостей ряда алканов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 3. – С. 320-326.

25. Дадашов И.Ф. Экспериментальное исследование тушения нефтепродуктов огнетушащей системой на основе гранулированного пеностекла // Теоретическая и прикладная механика. Межвузовский научно-технический журнал. (Баку). – 2018. – Т. XIII, № 3-4(51-52). – С. 127-133.

Патенты

26. Пат. 123563 UA. Спосіб гасіння резервуарів з горючими та легкозаймистими рідинами / І.Ф. Дадашов, О.О. Кіреєв, Д.В. Тарадуда. – заявник і патентовласник НУЦЗУ. – № 201710836. Заявл. 06.11.2017; Надр. 26.02.2018; Бюл. 4. – 4 с.

27. Пат. 128050 UA. Спосіб гасіння пожеж горючих та легкозаймистих рідин в резервуарах / Дадашов І.Ф., Ковальов О.О., Кіреєв О.О. – заявник і патентовласник НУЦЗУ. – № 201804056. Заявл. 13.04.2018; Надр. 27.08.2018; Бюл. 16. – 3 с.

28. Патент № 133144 UA. Спосіб гасіння горючих або легкозаймистих рідин плавучою зернистою системою / Дадашов І.Ф., Кіреєв О.О., Трегубов Д.Г., Шаршанов А.Я., Корчагіна А.П. – заявник і патентовласник НУЦЗУ. – № 201810297, Заявл. 17.10.2018; Надр. 25.03.2019; Бюл. № 6. 4 с.

Статті у інших виданнях

29. Дадашов И.Ф., Киреев А.А., Жерноклёв К.В. Пути повышения экологических характеристик средств тушения горючих жидкостей // Техногенно-екологічна безпека. – 2017. – № 1. – С. 39-43.

Матеріали науково-технічних конференцій

30. Дадашов И.Ф., Трегубов Д.Г., Киреев А.А., Тарахно Е.В. Тушение пожаров класса Вбинарной огнетушащей системой на основе гранулированного пеностекла // Материалы Международной научно-практической конференции “Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций”, Кокшетау. – 2018. – С. 123-126.

31. Дадашов И.Ф. Пути повышения эффективности тушения горючих жидкостей в резервуарах // Сборник материалов международного видеосеминара “Пожарная безопасность объектов хозяйствования”, Кокшетау. – 2016. – С. 11-14.

32. Дадашов И.Ф. Математическая модель, описывающая процесс испарения горючей жидкости // Материалы международной научно-практической конференции “Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации”, Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь. – 2016. – С. 59-63.

33. Dadashov I., Loboichenko V., Kireev A., Gurbanova M. Using of environmentally friendly gel-forming systems in fire fighting petroleum products //

International scientific-technical conference “Natural disasters and human life safety”, Abstracts of presentations, Baku, Azerbaijan. – 2017. – P. 127-128.

34. Дадашов И.Ф., Киреев А.А., Жерноклёв К.В. Исследование изолирующих свойств гелеобразного слоя по отношению к парам токсичных и горючих жидкостей // “Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку”, Матеріали 19 Всеукраїнської науково-практичної конференції, Київ. – 2017. – С. 136-139.

35. Дадашов И.Ф., Киреев А.А., Шаршанов А.Я. Повышение эффективности тушения горючих жидкостей в резервуарах путём использования гелеобразующих огнетушащих средств // “Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций: методы, технологии, проблемы и перспективы”, Материалы международной заочной научно-практической конференции, г. Светлая Роща, Республика Беларусь. – 2017. – С. 53-58.

36. Дадашов И.Ф., Киреев А.А., Жерноклёв К.В. Исследование испарения бензина через слой гранулированного пеностекла // “Пожежна безпека. Проблеми та перспективи”, Збірник доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції, Харків. – 2018. – С. 3-5.

37. Дадашов И.Ф., Ковалев А.А. Обоснование конструкции эжекционного аппарата для подачи пеностекла // “Пожежна безпека. Проблеми та перспективи”, Збірник доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції, Харків. – 2018. – С. 103-105.

38. Дадашов И.Ф., Трегубов Д.Г., Киреев О.О. Екологічний підхід до ізоляції розливу токсичних рідин // Матеріали V Міжнародного конгресу “Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування”, НУ “Львівська політехніка”, Львів. – 2018. – С. 109.

39. Дадашов И.Ф., Киреев А.А., Жерноклёв К.В. Исследование влияния толщины слоя гранулированного пеностекла на горение органических жидкостей // Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції “Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій”, ЧПБ НУЦЗУ, Черкаси. – 2018. – С. 165-167.

40. Дадашов И.Ф., Ковалёв А.А. Обоснование параметров конструкции эжекционного аппарата, применяемого при пожаротушении // Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції “Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій”, ЧПБ НУЦЗУ, Черкаси. – 2018. – С. 167-170.

41. Дадашов И.Ф., Киреев А.А., Гурбанова М.А., Лобойченко В.М. Подходы к исследованию экологических характеристик гелеобразующих систем, используемых при тушении нефтепродуктов // Materials of XIII International scientific-technical conference, ADDA, Baku. – 2018. – P. 201-206.

42. Дадашов И.Ф., Киреев А.А., Сенчихин Ю.Н., Сулейманова-Рахманлы А.Н. Решение проблем эффективного тушения резервуаров с горючими жидкостями с использованием твердых пористых материалов //

Материалы Международной научно-практической конференции “Безопасность в ЧС”, Баку. – 2018. – С. 39-45.

43. Дадашов И.Ф., Ковалёв А.А., Васильев С.В. Способ подслоного тушения горючих и легковоспламеняющихся жидкостей в резервуарах // Матеріали 20 Всеукраїнської науково-практичної конференції “Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку”. – Київ, 2018. – С. 155-157.

44. Дадашов И.Ф., Ковалёв А.А., Васильев С.В. Способ подслоного тушения горючих и легковоспламеняющихся жидкостей в резервуарах // Сборник материалов международной научно-практической конференции “Национальная стратегия по снижению рисков ЧС в Республике Беларусь на 2019-2030 годы”, УГЗ, Минск. – 2018. – С. 67-68.

45. Дадашов И.Ф., Киреев А.А., Трегубов Д.Г. Теоретические аспекты изоляции поверхности аварийного разлива опасных жидкостей // Материалы V Международной заочной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню охраны окружающей среды “Проблемы экологии и экологической безопасности”, Минск. – 2018. – С. 23-25.

46. Дадашов И.Ф., Киреев А.А., Трегубов Д.Г. Теоретические аспекты изоляции поверхности аварийного разлива опасных жидкостей // Сборник материалов XII международной научно-практической конференции молодых ученых “Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы”, Минск. – 2018. – С. 113-115.

47. Дадашов И.Ф. Тушение горючих жидкостей в резервуарах с применением гелеобразного огнетушащего состава // Сборник материалов международного видеосеминара “Пожарная безопасность объектов хозяйствования”, Кокшетаунский технический институт Комитета по ЧС МВД Республики Казахстан. – 2018. – С. 6-9.

АНОТАЦІЯ

Дадашов І.Ф. Розвиток наукових основ гасіння горючих рідин твердими пористими матеріалами та гелеутворюючими системами. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – “пожежна безпека”. Національний університет цивільного захисту України, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Харків, 2019.

Дисертаційна робота присвячена розв’язанню актуальної науково-прикладної проблеми у сфері пожежної безпеки – розвитку наукових основ використання легких, пористих матеріалів і вогнегасних гелеутворюючих систем для ліквідації пожеж класу В. Це дозволило розробити новий вогнегасний засіб в якому в значній степені подолано недосконалості існуючих методів ліквідації пожеж класу В. Основна увага приділена гасінню пожеж резервуарів з нафтою та нафтопродуктами.

На основі аналізу механізмів припинення горіння рідин сформульовані основні вимоги до вогнегасного засобу з підвищеною ефективністю:

- такий засіб повинен забезпечити умови гасіння на час достатній для охолодження конструкцій резервуара до температури нижче температури самозаймання;

- бути стійким по відношенню до термічного впливу від полум'я;

- виявляти високі охолоджуючі та ізолюючі властивості;

- мати прийнятні екологічні та економічні характеристики.

Таким вимогам відповідають вогнегасні системи в яких в якості легкого негорючого носія використовується піноскло, а в якості засобу ізоляції шар гелю.

В роботі розроблені математичні моделі ізолюючих і охолоджуючих властивостей шару піноскла і шару гелю, а також бінарного шару “гель + піноскло”, на основі яких проведена оцінка відповідних характеристик. Експериментально визначені охолоджуючі та ізолюючі властивості запропонованої вогнегасної системи, а також її вогнегасні характеристики.

На основі отриманих результатів розроблено практичні рекомендації щодо застосування вогнегасних систем на основі легких пористих матеріалів і гелеутворюючих систем для гасіння пожеж резервуарів з горючими рідинами та розливів таких рідин на всмоктуючі поверхні. Запропонована вогнегасна система забезпечує зниження фінансових витрат на вогнегасні речовини в $1,4 \div 4,2$ рази порівнюючи з використанням пін. Також вона має переваги порівнюючи з існуючими вогнегасними засобами за екологічними показниками.

Ключові слова: ліквідування пожеж класу В, резервуари з горючими та легкозаймистими рідинами, математична модель, ізолюючі властивості, охолоджуючі властивості, вогнегасні речовини, пористі матеріали, піноскло, гелеутворюючі системи, модельні вогнища пожежі.

АННОТАЦИЯ

Дадашов И.Ф. Развитие научных основ тушения горючих жидкостей твердыми пористыми материалами и гелеобразующими системами. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 21.06.02 – “пожарная безопасность”. Национальный университет гражданской защиты Украины, Государственная служба Украины по чрезвычайным ситуациям, Харьков, 2019.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной проблемы в сфере пожарной безопасности – развитие научных основ использования легких, пористых материалов и огнетушащих гелеобразующих систем для ликвидации пожаров класса В. Это позволило разработать новое огнетушащее средство, в котором в значительной степени устранены несовершенства существующих методов ликвидации пожаров класса “В”.

Основное внимание уделено тушению пожаров резервуаров с нефтью и нефтепродуктами.

На основе анализа механизмов прекращения горения жидкостей сформулированы основные требования к огнетушащему средству с повышенной эффективностью:

- такое средство должно обеспечить условия тушения на время достаточное для охлаждения конструкций резервуара до температуры ниже температуры самовоспламенения;

- быть устойчивым по отношению к термическому воздействию от пламени;

- проявлять высокие охлаждающие и изолирующие свойства;

- иметь приемлемые экологические и экономические характеристики.

Таким требованиям отвечают огнетушащие системы, в которых в качестве легкого негорючего носителя используется пеностекло, а в качестве средства изоляции слой геля.

В работе разработаны математические модели изолирующих и охлаждающих свойств слоя пеностекла и слоя геля, а также бинарного слоя “гель + пеностекло”, на основе которых проведена оценка соответствующих характеристик. Экспериментально определены охлаждающие и изолирующие свойства предложенной огнетушащей системы, а также её огнетушащие характеристики.

На основе полученных результатов разработаны практические рекомендации по применению огнетушащих систем на основе легких пористых материалов и гелеобразующих систем для тушения пожаров резервуаров с горючими жидкостями и разливов таких жидкостей на впитывающие поверхности. Предложенная огнетушащая система обеспечивает снижение финансовых затрат на огнетушащие вещества в $1,4 \div 4,2$ раза по сравнению с использованием пен. Также она имеет преимущества, по сравнению с существующими огнетушащими средствами по экологическим показателям.

Ключевые слова: ликвидация пожаров класса В, резервуары с горючими и легковоспламеняющимися жидкостями, математическая модель, изолирующие свойства, охлаждающие свойства, огнетушащие вещества, пористые материалы, пеностекло, гелеобразующие системы, модельные очаги пожара.

ABSTRACT

Dadashov I.F. Development of scientific principles of extinguishing combustible liquids with solid porous materials and gelforming systems. – A manuscript.

Thesis for a Doctor of Technical Sciences degree in specialty 21.06.02 “Fire Safety”. – National University of Civil Defence of Ukraine, State Emergency Service of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The dissertation is devoted to solving the actual scientific and applied problem in the field of fire safety – the development of scientific foundations for the use of

lightweight, porous materials and fire extinguishing gelling systems for the elimination of class B fires.

At present, the main means of fire extinguishing of reservoirs with combustible liquids are air-mechanical foams. On the basis of the analysis of the practice of extinguishing fires of foam tanks, their main disadvantages are identified. The main requirements for a fire extinguisher with high efficiency are formulated:

- method must provide conditions for extinguishing for a time sufficient to cool the designs of the tank to a temperature below the temperature of self-ignition;
- to be stable in relation to the thermal impact of the flame;
- to show high cooling and insulating properties;
- have acceptable environmental and economic characteristics.

High cooling and insulating properties allow the use of gel-forming extinguishing agents. Buoyancy of the gel-like layer allows for the use of lightweight porous materials. In the case of the use of non-combustible porous materials with closed pores, an unlimited long time of existence of a layer of this material on the surface of the liquid is provided. On the basis of the analysis of the properties of existing porous materials, such a granular foam glass is selected as such, obtained by crushing the block foam glass.

On the basis of the calculations, it was established and experimentally confirmed that the granules of the foam glass with a diameter of more than 1 cm do not undergo convective flows from burning liquids. On the basis of the conducted experiment it was established that the buoyancy of the granular foam glass layer with the size of the granules (1,0÷1,5) cm varies from 0.23 (for pentane) to 0.66 (for machine oil). Foam glass ball with granule size (1,0÷1,5) cm and thickness 15 cm ensures buoyancy of the solid gel layer in gasoline, kerosene and diesel fuel. To increase the cooling effect of the extinguishing agent for the first time, the use of a wetted foam glass has been proposed. The granular foam can hold up to 50 % water, which allows us to use it as a carrier of water – substances with an abnormally high cooling effect.

The buoyancy of the soaked foam glass is considerably inferior to the corresponding characteristic for a dry foam glass. For gasoline, it decreases from 0.55 to 0.28. At the same time, it has been experimentally established that damped foam glass exhibits a cooling effect of 3.9÷5.5 more than a dry material in the case of quenching high-boiling liquids. On the basis of which the conclusion is made of the possibility of extinguishing flammable liquids with a boiling point higher than 100°C using only a wetted foam glass.

The simulation of steam evaporation processes of a combustible liquid through a layer of a foam glass and cooling of a surface of a combustible liquid is executed. On the basis of the results of mathematical modeling it was established that the evaporation rate of a combustible liquid pair through a layer of porous material in the thickness of 10 cm decreases by 1.8 times in the case of stationary mode.

Based on the first developed experimental method for determining the insulating properties of a layer of porous granular material, it has been established that in time less than the time of onset of stationary mode, the rate of evaporation of gasoline decreases with increasing thickness of the layer of granular foam glass and reaches 5,6 times with a thickness of 13.5 cm.

As a component of the gelling system, was grounded the use as a gel formulation the 5 % solution of liquid glass ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$), and as the gelation catalyst the 5 % solution of calcium chloride (CaCl_2). Based on the results of

mathematical modeling of the process of diffusion of a combustible liquid pair through a gel layer, it is shown that a layer of gel with a thickness 2 mm provides reduction of evaporation rate more than 10 times, and with increasing thickness of the gel layer, its insulating properties increase.

On the basis of the first developed experimental method for determining the insulating properties of a gel layer, it was found that for hydrocarbon liquids the coefficient of evaporation deceleration by a thin solid gel layer exceeds 25 times. For the first time, a mathematical model of the vaporization process of a liquid vapor has been developed through a binary insulating layer consisting of a gel deposited on a surface of a foam glass. On the basis of this model, an estimation of the coefficient of deceleration of evaporation of a liquid with this binary layer was made. The rate of evaporation decomposition for octane is estimated at 100 at the thickness of the gel layer 2 mm, and a layer of foam glass 5 cm in comparison with the rate of evaporation from the free surface.

Experimentally established that the binary layer “foam glass – gel” , with a layer of gel layer (6÷7) mm maintains continuity of more than 3 days on the surface of the liquid. In the case of longer lifetime, the upper layer of the gel begins to crack. This indicates that according to the parameter of the working time, the proposed fire extinguishing equipment meets the requirements for the quenching of fires of reservoirs with combustible liquids.

The experimental studies of the dependence of the mass velocity of the burning of liquids on the thickness of the layer of dry foam, which is applied to their surface, are executed. Experiments were carried out on laboratory model fire points of the class B (small scaled). In this case, the following fluids were investigated: pentane, heptane, octane, decane, dodecane, gasoline AI-92, kerosene tractor, diesel fuel (winter), machine oil I-20, oil of the Julie deposit.

A study was also carried out on the dependence of the mass burning rate and quenching conditions on the thickness of the layer of dry and wetted foam glass, which was applied to their surface at the standard model fire point of the fire 2B for gasoline, white spirit, gas, diesel fuel and machine lubricant. Based on these studies, it was established:

- the best extinguishing properties is the crushed foam glass with the size of granules (1÷1,5) cm;
- light inorganic carrier – dry granular foam glass – for the thickness of the layer (7÷10) cm allows to reduce the massive rate of burning of liquid hydrocarbons by more than 10 times;
- gas extinguishing is achieved at the thickness of the layer of dry foam composition 12 cm with subsequent application on its surface of a layer of gel with a surface flow of 0,2 g/cm²;
- quenching of kerosene, diesel fuel and machine oil can be achieved by drawing a soaked foam glass with a thickness of layers 10, 4 and 3 cm, respectively, without additional application of a layer of gel;
- quenching the basis of the obtained analytical dependencies, it is proposed to choose the conditions for extinguishing combustible liquids.

Practical recommendations for the use of fire extinguishing systems on the basis of light porous materials and gel forming systems for extinguishing fires of reservoirs with combustible liquids and spills of such liquids on suction surfaces have been developed.

The proposed fire extinguishing system based on granular foam glass and extinguish gelling systems provides a reduction in the financial cost of extinguishing agents in the case of extinguishing liquids with a flash point lower than 30°C in 4,2 times compared with the use of foam. When extinguishing liquids with a flashpoint above 30°C this advantage is $1,4 \div 4,2$ times.

Key words: liquidation of class B fires, reservoirs with combustible and flammable liquids, mathematical model, isolating properties, cooling properties, extinguishing agents, porous materials, foam glass, gel forming systems, model fire cells.

Підписано до друку 10.05.19. Формат 60х84/16.
Папір 80 г/м². Друк ризограф. Авт. арк. 1,6.
Тираж 100 прим. Вид. № 110/14. Зам.№ 697/14.

Сектор редакційно-видавничої діяльності
Національного університету цивільного захисту України
61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94