

АКАДЕМІЯ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

БАБЕНКО ОЛЕКСІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 614.84

**ВИКОРИСТАННЯ ЯВИЩА ГЕЛЕУТВОРЕННЯ ДЛЯ
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІДИННИХ ЗАСОБІВ
ПОЖЕЖОГАСІННЯ**

Спеціальність 21.06.02 – Пожежна безпека

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2004

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Академії цивільного захисту України, МНС України,
м. Харків

Науковий керівник:

кандидат хімічних наук, доцент Кіреєв Олександр Олександрович,
Академія цивільного захисту України, доцент кафедри процесів
горіння.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор Беліков Анатолій Серафимович,
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ), професор
кафедри безпеки життєдіяльності;
- кандидат технічних наук, доцент Заїка Петро Іванович, Черкаський
інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України (м.
Черкаси), начальник кафедри пожежної профілактики.

Провідна установа

Харківський державний технічний університет будівництва та
архітектури МОН України (м. Харків).

Захист відбудеться “ 31 ” березня 2005 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради К 64.707.01 при Академії цивільного захисту
України, за адресою: 61023, м. Харків, вул. Чернишевського, 94.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Академії цивільного захисту
України, за адресою: 61023, м. Харків, вул. Чернишевського, 94.

Автореферат розісланий “ 25 ” лютого 2005 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Кривцова В.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. У 2003 році в Україні зафіксовано 61 тис. 280 пожеж і загорянь. При ліквідації переважної більшості таких пожеж, як в Україні так і у світі в цілому, використовується вода. Так у 2003 році більше 98% усіх пожеж та загорянь, які виникли в Україні, ліквідувалися з використанням води. Використання води обумовлено її доступністю, відсутністю шкідливої дії на людину та навколишнє середовище, легкістю подачі та приведення у взаємодію з твердими горючими матеріалами. До позитивних властивостей води як вогнегасного засобу можна віднести: високу теплоємність, високу теплоту пароутворення та значну термостійкість, що робить її ефективним засобом пожежогасіння у більшості випадків. Проте, поряд із позитивними властивостями, вода має незначну в'язкість, відносно високий поверхневий натяг, тому швидко стікає з вертикальних та похилих поверхонь, що суттєво знижує її вогнегасну ефективність та спричиняє додаткові збитки від заливання нижніх поверхів будівель та споруд, забруднення продуктами горіння стічних вод та ґрунтів.

На сьогоднішній день багато наукових робіт присвячені проблемі підвищення вогнегасної ефективності вогнегасних засобів на основі води. Це роботи М.В. Казакова, І.А. Корольченка, І.Ф. Безродного, Є.А. Лінчевського, М.В. Одинця, Г.В. Яворського, А.В. Підгайного, А.Б. Ступіна, А.П. Симоненка, Н.В. Биковської, І.А. Харченка, Є.Г. Братути, В.В. Хмельницького, Н.М. Красавиної, а також роботи G. Hafos, W. Müller, T. Schöb, R. Ross. Серед підходів до вирішення проблеми підвищення вогнегасної ефективності рідинних вогнегасних засобів відносять: додавання до води спеціально підібраних речовин, що модифікують її властивості, використання води у комбінації з іншими вогнегасними засобами, удосконалення тактичних прийомів, технічних засобів та способів її подачі. Одним з шляхів підвищення вогнегасної ефективності води є утримання води на вертикальних та похилих поверхнях. Це пропонується здійснити шляхом введення до води неорганічних гелеутворюючих добавок. Проте, на сьогоднішній день практично відсутні дані щодо використання явища гелеутворення при розробці вогнегасних складів.

Тому підбір компонентів гелеутворюючих вогнегасних складів, дослідження їх вогнегасних властивостей та оптимізація їх якісного та кількісного складу є перспективним напрямком наукових досліджень, результати яких спрямовані на підвищення ефективності пожежогасіння.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційне дослідження проводилось у межах науково-дослідницької роботи за замовленням Департаменту сил МНС України - № 0104U004050, у відповідності з пріоритетними напрямками фундаментальних та прикладних досліджень ВНЗ та НДУ МНС України на 2002 – 2005 роки.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності пожежогасіння шляхом використання гелеутворюючих систем на основі неорганічних сполук.

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити наступні задачі:

- з використанням теорії планування провести експериментальні дослідження щодо визначення факторів, які мають найбільший вплив на час гелеутворення та вогнегасні властивості гелів;
- визначити гелеутворюючі речовини та ініціатори гелеутворення, які можна використовувати у якості добавок до рідинних засобів пожежогасіння;
- визначити концентраційні області швидкого структуроутворення обраних гелеутворюючих систем;
- визначити вплив параметрів компонентів гелеутворюючих систем та підвищення температури на процес гелеутворення;
- розробити та виготовити експериментальні лабораторні установки для дослідження вогнегасних властивостей запропонованих складів;
- побудувати математичні моделі охолоджуючої та вогнезахисної дії запропонованих складів та оцінити адекватність отриманих математичних моделей;
- визначити параметри оптимізації та оптимізувати масовий склад запропонованих гелеутворюючих систем;
- провести випробування оптимізованого гелеутворюючого складу при гасінні модельних вогнищ пожеж класу „А”;
- розробити рекомендації з використання гелеутворюючих складів для гасіння пожеж.

Об’єкт дослідження – гелеутворюючі системи на основі неорганічних сполук.

Предмет дослідження – фізико-хімічні властивості гелеутворюючих систем на основі неорганічних сполук.

Методи дослідження – теорія планування експерименту для підготовки та проведення експериментальних досліджень, методи математичної статистики для обробки результатів досліджень та перевірки адекватності отриманих моделей. Оцінка вогнегасних, вогнезахисних та теплоізолюючих властивостей гелеутворюючих складів проводилась за стандартними методиками.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- вперше, запропоновано вирішення задачі підвищення ефективності рідинних засобів пожежогасіння шляхом використання явища гелеутворення, що дозволяє утримувати їх на вертикальних та похилих поверхнях;
- вперше запропонований та обґрунтований спосіб гасіння пожеж твердих горючих матеріалів використанням гелеутворюючих систем на основі неорганічних сполук;
- вперше запропоновані компоненти вогнегасних гелеутворюючих складів та визначені їх концентраційні області;
- вперше отримані експериментальні моделі часу гелеутворення в умовах зміни кількісного складу запропонованих вогнегасних систем;

- отримані математичні моделі для визначення показників охолоджуючої та вогнезахисної дії запропонованих гелеутворюючих складів;
- визначені оптимальні значення масового складу для кожного з запропонованих гелеутворюючих вогнегасних складів;
- розроблені рекомендації щодо використання гелеутворюючих складів для гасіння пожеж.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані математичні моделі часу гелеутворення, вогнегасної та вогнезахисної дії гелеутворюючих складів дозволяють використовувати дані склади для гасіння пожеж твердих горючих матеріалів (ТГМ), розраховувати їхні параметри в залежності від конкретної обстановки на пожежі.

Використання запропонованих вогнегасних складів сприяє скороченню часу гасіння пожеж, зниженню матеріальних збитків (у тому числі від контактування матеріальних цінностей з вогнегасниками речовинами), та підвищити рівень протипожежного захисту об'єктів.

Реалізацію висновків і результатів роботи здійснено шляхом використання підрозділами Державної пожежної охорони МНС України нових вогнегасних складів і тактичних прийомів їхньої подачі зі штатної пожежної техніки при гасінні пожеж.

Особистий внесок автора полягає в одержанні наукових результатів, викладених у дисертації і відображених у наукових працях, полягає в аналізі шляхів підвищення вогнегасної ефективності рідинних засобів пожежогасіння, отриманні концентраційних областей структуроутворення, розробці та виготовленні експериментальної лабораторної установки для визначення здатності гелів до утримування на вертикальних і похилих поверхнях та експериментальної установки для визначення вогнегасної дії гелеутворюючих складів, отриманні математичних моделей часу охолодження поверхні, вогнезахисної дії, часу гелеутворення.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційного дослідження викладені на: Міжнародній науково-практичній конференції присвяченій 150-річчю пожежної служби Республіки Білорусь „Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация” (м. Мінськ, 2003); науково-практичній конференції „Моделювання лісових пожеж” (м. Харків, 2003); IV науково-практичній конференції „Пожарная безопасность” (м. Харків, 2003); науково-технічних семінарах АЦЗУ МНС України (2002 – 2004 р.).

Публікації. Основні наукові положення та результати досліджень за темою дисертації опубліковано в 7 статтях у виданнях, що входять до Переліку ВАК України, 3 тезах доповідей на конференціях, 1 деклараційному патенті України на винахід.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів і висновків, містить 225 сторінки друкованого тексту (з них 133 сторінок основного тексту), 18 таблиць, 16 ілюстрацій і 5 додатків, списку використаних джерел з 127 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

В першому розділі наведений аналіз даних щодо використання різних видів вогнегасних засобів. Зауважено, що, при гасінні пожеж водою, більша її частина стікає з вертикальних та похилих поверхонь, та заливає нижні рівні та поверхи.

Проаналізовані переваги та недоліки сучасних способів підвищення вогнегасної ефективності рідинних вогнегасних засобів на основі води, до яких віднесені: додавання модифікуючих добавок, вдосконалення тактичних прийомів подачі, попередня обробка (нагрівання, магнітна обробка тощо).

Проаналізований механізм дії кожного виду модифікуючих добавок. Зауважено на доцільність створення рідинного вогнегасного складу на основі води з додаванням неорганічних гелеутворюючих добавок, який би поєднував здатність утримувати більшу частину води на вертикальних та похилих поверхнях, безпечність для людини та навколишнього середовища, доцільність використання з економічної точки зору та легкість транспортування до осередків горіння.

Зазначено, що на сьогоднішній день відсутнє єдине визначення гелю як стану речовини. Проаналізовані дані щодо типів структуроутворення та фактори, які впливають на його кінетику.

В другому розділі шляхом проведення експериментальних лабораторних досліджень визначені якісні склади гелеутворюючих систем. На основі результатів проведених досліджень та з огляду на дані літературних джерел запропоновані гелеутворюючі склади, які складаються з двох розчинів, перший з яких являє собою водний розчин полісилікату натрію ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$), а другий – водний розчин солі: сульфату алюмінію, хлориду заліза (+3); сульфату магнію (+2), хлориду кальцію (+2). Наведений опис фізико-хімічних показників полісилікату натрію як основи гелеутворюючих систем.

Результати проведених досліджень свідчать про можливість подачі водних розчинів запропонованих гелеутворюючих систем без застосування спеціального обладнання. Наведені результати досліджень концентраційних областей гелеутворення.

Для вираження складу розчинів компонентів системи використовувалась масова частка (ω).

Концентраційні області з часом гелеутворення ≤ 10 хв отримувались шляхом нанесення дослідних точок на трикутник Гібса – Розебома (рис. 1).

Наведені результати досліджень впливу масового вмісту коагулятора ω_1 , гелеутворювача ω_2 , температури розчинів T , силікатного модуля M .

Вплив зазначених факторів на час гелеутворення був представлений у вигляді багатфакторної функціональної залежності:

$$\tau = F(\omega_1, \omega_2, T, M)$$

У результаті обробки експериментальних даних були отримані апроксимуючі математичні залежності для обчислення часу гелеутворення для кожної з досліджених систем. У апроксимуючу модель вводились нові змінні: $\omega_1 \rightarrow X_1$; $\omega_2 \rightarrow X_2$; $T \rightarrow X_3$; $M \rightarrow X_4$.

Для системи $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:

$$\begin{aligned} \tau = & -2,121 \cdot X_1^2 + 7,7 \cdot X_2^2 + 2,88 \cdot X_4^2 + 0,436 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,06 \cdot X_1 \cdot X_3 - 2,999 \cdot X_1 \cdot X_4 + \\ & + 0,111 \cdot X_2 \cdot X_3 + 4,738 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,514 \cdot X_3 \cdot X_4 + 20,117 \cdot X_1 - 122,691 \cdot X_2 - \\ & - 2,2844 \cdot X_3 - 52,906 \cdot X_4 + 490,419 \end{aligned} \quad (1)$$

Помилки обчислень становлять: середньоквадратична $e = 0,65$; середня абсолютна $h = 0,66$; середня відносна $h\% = 10,27$. Також наведені графічні залежності для кожної з досліджених гелеутворюючих систем.

Результати досліджень свідчать про те, що вплив силікатного модуля на час гелеутворення знаходиться у межах 10%. Аналіз отриманих апроксимуючих залежностей свідчить про те, що підвищення температури розчинів компонентів гелеутворюючих систем до 75 C^0 та вище призводить до підвищення часу гелеутворення на (10 ÷ 15)%.

В третьому розділі, зазначено що так як основною складовою даних гелів є вода, їх вогнегасна дія буде переважно полягати у охолодженні поверхонь твердих горючих матеріалів нижче температури піролізу. Однак, після закінчення випаровування води з шару гелю, на поверхнях утворюється плівка, що чинить теплоізолюючу та вогнезахисну дію.

Вогнегасна дія гелю пояснюється наступними процесами:

- випаровуванням хімічно незв'язаної води;
- розкладанням гідроксидів металів;
- плавленням і розкладанням кристалогідратів солей і утворенням захисної плівки;
- десорбцією води з гелю.

Використовуючи математичну теорію планування експериментальних досліджень для кожної з запропонованих гелеутворюючих систем, отримані математичні залежності часу гелеутворення від масового вмісту: x_1 – коагулятора; x_2 – гелеутворювача; x_3 – води. Паралельно з проведенням досліджень часу початку гелеутворення оцінена здатність гелів до утримання на вертикальних поверхнях. Для цього розроблена та виготовлена лабораторна установка. За відношенням масової частини речовини, що стекла до загальної маси розпиленої речовини оцінюється здатність гелю до закріплення на вертикальній поверхні.

Для переходу до натуральних перемінних, на основі даних щодо граничного вмісту, складалися та вирішувались відповідні системи рівнянь.

Наприклад, для переходу до натуральних перемінних у залежності для системи $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ вирішувалась система рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{\%(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)} &= 2,8 \cdot x_1 + 1,2 \cdot x_2 + 1,3 \cdot x_3 \\ \omega_{\%(\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2)} &= 4,8 \cdot x_1 + 7,9 \cdot x_2 + 4,9 \cdot x_3 \\ \omega_{\%(\text{H}_2\text{O})} &= 92,4 \cdot x_1 + 90,9 \cdot x_2 + 93,8 \cdot x_3 \end{aligned} \right\} . \quad (2)$$

Для гелеутворюючої системи $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ залежність часу гелеутворення від складу системи має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \tau &= 2,53 \cdot x_1 + 424,67 \cdot x_2 + 594,33 \cdot x_3 - 990,40 \cdot x_1 \cdot x_3 - 290,00 \cdot x_3 \cdot x_2 - \\ & 785,08 \cdot x_2 \cdot x_1 + 1375,25 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot (x_1 - x_3) - 216,00 \cdot x_3 \cdot x_2 \cdot (x_3 - x_2) + \\ & + 196,96 \cdot x_2 \cdot x_1 \cdot (x_2 - x_1) - 1328,64 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot (x_1 - x_3)^2 - \\ & - 105,81 \cdot x_3 \cdot x_2 \cdot (x_3 - x_2)^2 + 1826,18 \cdot x_2 \cdot x_1 \cdot (x_2 - x_1)^2 + \\ & + 1943,36 \cdot x_1^2 \cdot x_2 \cdot x_3 + 2200,42 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3^2 - 6005,92 \cdot x_1 \cdot x_2^2 \cdot x_3. \end{aligned} \quad (3)$$

Розраховані значення критерію Кохрена свідчать про відтворюваність даного процесу та однорідність дисперсій. Адекватність опису процесу даними моделями перевірялась за критерієм Стюдента. Для отриманих експериментальних результатів одержані значення дисперсії відтворення, похибки відтворення, похибки досліду та максимальне розраховане значення довірчого інтервалу. У результаті проведення даних досліджень отримані діаграми „склад - властивість” для визначення часу гелеутворення (рис. 2).

Результати даних досліджень дозволяють зробити висновок про можливість регулювання часу гелеутворення шляхом зміни концентраційного складу гелеутворюючої системи. При цьому область гелеутворення з часом $\tau = 0$ с відповідає умовам коли структуроутворення відбувається безпосередньо у процесі змішування компонентів гелеутворюючих систем. Всередині області, що обмежена ізолінією $\tau = 0$ с час гелеутворення вважається незмінним. Найменші значення масового вмісту гелеутворювача та коагулятору, що необхідні для досягнення нульового часу гелеутворення, має система $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{MgSO}_4$.

Для вивчення вогнезахисних властивостей гелеутворюючих систем були проведені експериментальні лабораторні дослідження динаміки випаровування хімічно незв'язаної води з поверхонь гелів в умовах природної сушки.

Аналіз результатів досліджень свідчить про зростання відносної маси залишкової хімічно непов'язаної води при зростанні масового вмісту гелеутворювача.

Використання гелю системи $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ дозволяє затримати біля 7,9% від початкової маси води у зв'язаному стані при початковій масовій частці води 92,1% (рис. 3). Для кожної системи отримані математичні залежності відносної масової частки води у гелі від масового вмісту коагулятора (x_1), гелеутворювача (x_2) та води (x_3). Наприклад, для системи $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:

$$m_{\%} = 2,05 \cdot x_1 + 0,80 \cdot x_2 + 4,19 \cdot x_3 + 4,70 \cdot x_1 \cdot x_2 + 21,18 \cdot x_3 \cdot x_2 - 4,04 \cdot x_3 \cdot x_1. \quad (4)$$

Результати розрахунків критерію Стьюдента свідчать про адекватність опису дослідженого процесу даними моделями. Аналіз результатів досліджень свідчить про доцільність використання системи $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ для вогнезахисту поверхонь і дозволяє затримати біля 30% води на поверхнях.

Показано, що основною складовою вогнегасної дії гелеутворюючих складів є охолоджуюча дія. Наведені результати експериментальних досліджень з визначення часу відновлення початкової температури розігрітої поверхні після її обробки гелеутворюючим складом.

Тривалість подачі гелю складала 10 ± 1 с. При використанні гелеутворюючих складів, на відміну від води, спостерігалось тривала стабілізація температури поверхні на нижній межі (рис. 4, крива 2).

Після обробки експериментальних даних були отримані математичні залежності часу відновлення початкової температури τ на поверхні екрану від концентраційного складу гелеутворюючої системи.

Для гелеутворюючої системи $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:

$$\begin{aligned} \tau = & 416,67 \cdot x_1 + 334,67 \cdot x_2 + 477,00 \cdot x_3 - 276,66 \cdot x_1 \cdot x_3 + 476,66 \cdot x_3 \cdot x_2 + \\ & + 304,00 \cdot x_2 \cdot x_1 + 495,06 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot (x_1 - x_3) - 500,45 \cdot x_3 \cdot x_2 \cdot (x_3 - x_2) - \\ & - 497,75 \cdot x_2 \cdot x_1 \cdot (x_2 - x_1) - 233,84 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot (x_1 - x_3)^2 - \\ & - 594,64 \cdot x_3 \cdot x_2 \cdot (x_3 - x_2)^2 + 2606,18 \cdot x_2 \cdot x_1 \cdot (x_2 - x_1)^2 + \\ & + 2804,82 \cdot x_1^2 \cdot x_2 \cdot x_3 + 9370,29 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3^2 - 3910,69 \cdot x_1 \cdot x_2^2 \cdot x_3. \end{aligned} \quad (5)$$

Середній час відновлення початкової температури при використанні води для охолодження склав 267 с. Подальші дослідження охолоджуючої дії гелеутворюючих систем здійснювалось шляхом вивчення поверхонь відклику (рис. 5).

Використання гелеутворюючих складів дає змогу значно підвищити час відновлення температури робить, можливим їх використання: для захисту суміжних із пожежею поверхонь від теплового впливу пожежі, наприклад,

резервуарів із нафтопродуктами; сушарок, інших технологічних ємкостей та апаратів; обмеження розповсюдження полум'я по поверхнях та запобігання повторних займань після закінчення гасіння. З наведених діаграм видно, що додавання до води, навіть незначної кількості ($4 \div 5$ % мас.) гелеутворювача дає змогу підвищити охолоджуючу дію води у $1,7 \div 2$ рази.

При проведенні досліджень вогнезахисних та теплозахисних властивостей гелів, за основу був прийнятий метод визначення групи важкогорючих матеріалів (метод керамічної труби (КТ)). Вогнезахисна дія гелю оцінювалась за часом займання обробленого гелеутворюючим складом зразка без урахування зміни його маси.

Після обробки одержаних даних були отримані математичні моделі та побудовані діаграми для розрахунку часу займання τ дослідного зразка при змінюваному складі гелеутворюючої системи (рис. 6).

Для гелеутворюючої системи $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:

$$\begin{aligned} \tau = & 209,33 \cdot x_1 + 200,67 \cdot x_2 + 110,33 \cdot x_3 + 96,68 \cdot x_1 \cdot x_3 + 18,00 \cdot x_3 \cdot x_2 + \\ & + 2988,00 \cdot x_2 \cdot x_1 + 760,85 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot (x_1 - x_3) + 98,72 \cdot x_3 \cdot x_2 \cdot (x_3 - x_2) + \\ & + 1845,28 \cdot x_2 \cdot x_1 \cdot (x_2 - x_1) + 86,24 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot (x_1 - x_3)^2 - 189,33 \cdot x_3 \cdot x_2 \cdot (x_3 - x_2)^2 - \\ & - 6031,99 \cdot x_2 \cdot x_1 \cdot (x_2 - x_1)^2 - 12232,58 \cdot x_1^2 \cdot x_2 \cdot x_3 - 570,50 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3^2 - \\ & - 8307,83 \cdot x_1 \cdot x_2^2 \cdot x_3. \end{aligned} \quad (6)$$

Зауважено на тривале зниження температури у вогневій камері у межах $(150 \div 180)^\circ\text{C}$ та зменшення зони обвуглення оброблених зразків порівняно із необробленими.

Враховуючи залежність вогнегасних та вогнезахисних властивостей від товщини шару гелю, проведені дослідження товщини шару гелів на вертикальних поверхнях та їх адгезійної міцності. У якості досліджуваних поверхонь використовувались зразки з деревини (сосни за ГОСТ 9685-61), сталі, поліетилену та бетону. Для усіх гелеутворюючих систем, за виключенням $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{FeCl}_3$, максимальні значення питомого зусилля нормального відриву P_n спостерігалися при мінімальному вмісті гелеутворювача у системах. Найнижчі значення P_n для усіх систем спостерігалися для бетону.

Серед досліджених систем найбільші значення P_n зафіксовані для системи $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ і складають для бетону, деревини та заліза 106,2 Па; 175,1 Па; та 181,5 Па відповідно. Виключенням є P_n для поліетилену, найбільше значення якого зафіксовано для системи $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ і складає 181,9 Па. Отримані значення P_n свідчать про те, що дані гелеутворюючі системи можуть бути використані для вогнезахисту, у тому числі і гідрофобних поверхонь. При цьому сила утримання гелю на поверхні зумовлюється переважно шорсткістю поверхні.

Для оптимізації кількісного складу запропонованих складів був використаний узагальнений критерій оптимальності \tilde{y} , який є середнім геометричним функцій бажаності d_i (табл. 1).

Таблиця 1

Оптимізовані значення функцій відклику та склад гелеутворюючих систем

Гелеутворююча система	$\omega_1, \%$	$\omega_2, \%$	\tilde{y}	$\tau_{\text{охол.}}, \text{с}$	$\tau_{\text{вогнез.}}, \text{с}$
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	5,3	9,6	0,72	652,2	974,8
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$	12,4	3,8	0,92	560,3	500,9
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{FeCl}_3$	5,0	14,9	0,72	357,2	484,3
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{MgSO}_4$	5,3	6,2	0,94	535,4	559,3
$\text{CaCl}_2 - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	6,2	5,8	0,97	386,3	348,2
$\text{CaCl}_2 - \text{MgSO}_4$	6,1	5,9	0,87	323,1	335,3

Зазначається, що вибір одного з запропонованих оптимізованих гелеутворюючих складів обумовлюється економічною доцільністю. У якості параметрів оптимізації були прийняті значення функцій відклику $\tau_{\text{охол.}}$, $\tau_{\text{вогнез.}}$, що були віднесені до вартості 1 тони певного гелеутворюючого складу. Для випробувань вогнегасної здатності з розрахованих оптимізованих складів гелеутворюючих систем був обраний склад $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$, який має найбільші значення параметрів оптимізації при найнижчій вартості, яка складає 92 грн. за тону. Враховуючи особливості використання, для кожного з компонентів запропонованих гелеутворюючих складів проаналізована токсикогігієнічна дія. З усіх компонентів загальну токсичну дію має лише FeCl_3 який відноситься до II-го класу небезпечності. Для решти речовин класи небезпечності не встановлені.

У четвертому розділі викладені результати експериментальних досліджень, корозійної дії водних розчинів компонентів обраних гелеутворюючих систем. Корозійна дія була вивчена при взаємодії з матеріалами, що є найбільш поширеними у сучасній пожежній техніці: алюмінієвий сплав АЛ-9 за ДСТУ 2112-92, сталь Ст.3 та матеріал рукава пожежного прогумованого за ГОСТ 7877-75.

Встановлено, що досліджені розчини мають помірну корозійну активність по відношенню до алюмінієвого сплаву. Виключенням є розчин FeCl_3 , при взаємодії якого з зразком відбувалася бурхлива хімічна реакція з виділенням великої кількості теплової енергії. Видимі руйнування матеріалу рукава при взаємодії з розчином FeCl_3 зафіксовані через 30 діб від початку випробувань.

Екологічна безпека гелеутворюючих складів для навколишнього середовища оцінювалась за показником рН синерезисної рідини. Значення рН, що відповідає природному фону, знаходяться у діапазоні (6,1 ÷ 8,5) і є близькими до нейтральних значень. Для водних розчинів, MgSO_4 , CaCl_2 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, рН складає біля 5, розчину FeCl_3 – біля 1, розчину $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \cdot \text{SiO}_2$ – біля 12.

Для випробування вогнегасної дії запропонованих складів була розроблена та виготовлена експериментальна установка (рис. 7) Випробування проводилось на модельних вогнищах пожежі класу А.

Результати досліджень свідчать, що вогнегасна здатність даного гелеутворюючого складу складає $(0,36 \div 0,41)$ л/м². Середній час гасіння модельного вогнища 2А склав 23,8 с.

Наведений розрахунок економічного ефекту від використання запропонованого гелеутворюючого складу для гасіння пожеж ТГМ за методом порівняння двох варіантів гасіння пожеж на об'єктах житлового комплексу: базового та запропонованого. Розрахунки свідчать, що використання даного складу дозволить зменшити побічні збитки від пожеж на об'єктах житлового сектору на 26456,86 тис. грн., що складає 10,2% від загальної суми побічних збитків, у тому числі витрати держави на виконання функцій забезпечення пожежної безпеки та гасіння пожеж на 17107,35 тис. грн., що складає 20,2%. Чистий річний ефект від впровадження нового вогнегасного складу складає 29207,41 тис. грн. Крім того, використання гелеутворюючого складу дасть змогу запобігти потраплянню 327,7 тис. м³ води з залишками продуктів горіння у стічні води та ґрунт, чим зменшить значно екологічні наслідки від пожеж ТГМ.

Рекомендації з використання гелеутворюючих складів розроблялися виходячи з результатів експериментальних досліджень його фізико-хімічних показників і призначені для практичних робітників ДПО МНС України.

Рекомендовано використання гелеутворюючих складів на основі полісилікату натрію для гасіння пожеж класу А. Гасіння пожежі даними складами рекомендовано шляхом одночасної роздільної подачі рівних об'ємів двох водних розчинів з наступним їх перемішуванням на виході з пожежного ствола-змішувача або безпосередньо на поверхнях ТГМ у зоні горіння та на шляху поширення пожежі.

Рекомендований тиск на виході з стволу, повинен становити від 0,4 до 0,6 МПа. Наведені способи подачі гелеутворюючих складів на гасіння пожежі.

ВИСНОВКИ

У роботі отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності забезпечують рішення науково-практичної задачі: підвищення вогнегасної ефективності рідинних засобів пожежегасіння на основі води шляхом додавання гелеутворюючих речовин. При виконанні роботи були вирішені наступні задачі:

1. На основі аналізу даних літературних джерел запропонований спосіб гасіння пожеж ТГМ гелеутворюючим вогнегасним складом на основі неорганічних сполук.

Підвищення ефективності пожежогасіння, при використанні гелеутворюючого складу, досягається підвищенням коефіцієнту його використання, та високою вогнегасною здатністю, яка складає $(0,36 \div 0,41)$ л/м².

2. На основі результатів лабораторних досліджень отриманий якісний склад компоненти гелеутворюючих систем, які можна використовувати при розробці гелеутворюючих складів.

3. Отримані концентраційні області гелеутворення неорганічних систем на основі полісилікату натрію.

4. Розроблений та виготовлений дослідний зразок портативної установки гасіння пожеж ТГМ гелеутворюючими складами.

5. На основі отриманих результатів експериментальних досліджень отримані математичні залежності для визначення складових вогнегасної дії гелеутворюючого складу.

6. Проведені експериментальні дослідження адгезійної міцності запропонованих вогнегасних гелів до поверхонь матеріалів, які найбільш широко використовуються у будівництві та промисловості, визначена максимальна можлива товщина шару гелів на цих поверхнях.

7. На підставі отриманих результатів експериментальних досліджень проведена оптимізація гелеутворюючого складу за масовим вмістом компонентів та проведені випробування його вогнегасної здатності при гасінні модельних вогнищ пожежі 2А.

8. Проведений аналіз економічної доцільності використання запропонованого гелеутворюючого складу для гасіння пожеж на об'єктах житлового сектору.

9. На основі результатів експериментальних досліджень експлуатаційних властивостей розроблені рекомендації щодо використання запропонованого гелеутворюючого складу ГВС підрозділами МНС України.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кіреєв О.О., Бабенко О.В. Аналіз шляхів підвищення вогнегасної ефективності рідинних засобів пожежогасіння// Проблеми пожежної безпеки: Сб. науч. тр. АПБ України. – Вып. 11. – Харьков: Фолио, 2002. – С. 101 – 104.
2. Кіреєв О.О., Бабенко О.В. Обґрунтування вибору систем для дослідження явища гелеутворення при розробці нових складів рідинних засобів пожежогасіння// Проблеми пожежної безпеки: Сб. науч. тр. АПБ України. – Вып. 12 – Харьков: Фолио, 2002. – С. 107 – 110.
3. Кіреєв О.О., Бронжаєв М.Ф., Мішурова Т.В., Бабенко О.В. Дослідження властивостей розчинів гелеутворюючих систем та установка для його здійснення// Проблеми пожежної безпеки: Сб. науч. тр. АПБ України. – Вып. 13 – Харьков: Фолио, 2002. – С. 52 – 56.
4. Кіреєв О.О., Муравйов С.Д., Бабенко О.В. Використання гелеутворюючих систем для попередження, локалізації та ліквідації пожеж та загорянь// Хранение и переработка зерна. - № 12 (54). – 2003. – С. 52 – 54.
5. Кіреєв О.О., Бабенко О.В. Експериментальні дослідження утримання води у плівках вогнегасних гелів при сушці в природних умовах//

Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. Спец. вып. - Харьков: Фолио, 2004. – С. 57 – 60.

6. Кіреєв О.О., Романов В.М., Бабенко О.В. Дослідження концентраційних областей гелеутворення вогнегасних складів// Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: Фолио, 2003. – Вып. 14. – С. 109 – 112.

7. Кіреєв О.О., Бабенко О.В. Оптимізація складу гелеутворюючих вогнегасних систем// Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: Фолио, 2004. – Вып. 15. – С. 103 – 106.

8. Пат. 60882А Україна, МПК7 А62С 1/00. Спосіб гасіння пожежі та складі для його здійснення/ Борисов П.Ф., Росоха В.О., Абрамов Ю.О., Кіреєв О.О., Бабенко О.В. (Україна); Академія пожежної безпеки України. - №2003032600. Заявл. 25.03.2003; Надр. 15.10.2003; Бюл. №10 – 2 с.

АНОТАЦІЯ

Бабенко О.В. Використання явища гелеутворення для підвищення вогнегасної ефективності рідинних засобів пожежогасіння. – Рукопис. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 21.06.02. – “Пожежна безпека”. Академія цивільного захисту України, Харків, 2004 р.

Запропонований та обґрунтований спосіб гасіння пожеж твердих горючих матеріалів з використанням гелеутворюючих систем на основі неорганічних сполук. Основою запропонованих гелеутворюючих систем є полісилікат натрію. У якості коагуляторів запропоновані водні розчини солей багатовалентних металів. Для спрощення і забезпечення стабільності подачі запропонована роздільна подача водних розчинів компонентів гелеутворюючих систем з наступним їхнім змішуванням на поверхні горіння або в спеціальному стволі. Після змішування водних розчинів компонентів гелеутворюючих систем на поверхнях утворюється шар гелю, який має високі вогнезахисні властивості.

Для кожної з систем визначені концентраційні області гелеутворення. Отримані математичні залежності для визначення часу гелеутворення досліджуваних систем. Отримані математичні моделі для визначення охолоджуючої та вогнезахисної дії запропонованих гелеутворюючих систем при змінюваному кількісному складі. Експериментально визначені оптимальні значення масового вмісту кожного з компонентів гелеутворюючих вогнегасних складів. Проведені випробування оптимізованого гелеутворюючого складу при гасінні модельних вогнищ пожежі твердих горючих матеріалів.

АНОТАЦІЯ

Бабенко А.В. Использование явления гелеобразования для повышения огнетушащей эффективности жидкостных средств пожаротушения. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.02. – “Пожарная безопасность”, Академия гражданской защиты Украины, Харьков, 2004 г.

Проанализированы недостатки современных способов и средств пожаротушения и пути повышения эффективности жидкостных средств пожаротушения. Прогнозируется повышение эффективности пожаротушения за счет увеличения коэффициента использования воды при введении гелеобразующих добавок. При этом большая часть огнетушащего состава удерживается на вертикальных и наклонных поверхностях. Предложен и обоснован способ тушения пожаров твердых горючих материалов с использованием гелеобразующих систем на основе неорганических соединений. Основой предложенных гелеобразующих систем является полисиликат натрия. Для использования в качестве коагуляторов предложены водные растворы солей многовалентных металлов: сульфата алюминия, хлорида железа (+3); сульфата магния (+2), хлорида кальция (+2). Для упрощения и обеспечения стабильности подачи предложена отдельная подача водных растворов компонентов гелеобразующих систем с последующим их смешиванием на поверхности горения или в специальном стволе. После смешивания водных растворов компонентов гелеобразующих систем на поверхностях образуется сплошной слой геля с высокими огнезащитными свойствами. Толщина слоя регулируется временем подачи. Исследована зависимость плотности, коэффициента кинематической вязкости и температуры замерзания водных растворов компонентов предложенных гелеобразующих систем от массовой доли соли в растворе. Исследовано влияние силикатного модуля и температуры на кинетику структурообразования предложенных систем. Показано, что их свойства определяются количественным составом. Для каждой из систем определены концентрационные области гелеобразования. Получены математические модели для определения времени гелеобразования. Показана возможность регулирования времени гелеобразования путем изменения количественного состава системы. Разработаны и изготовлены установки для исследования удержания гелей на вертикальных поверхностях и огнетушащего действия гелеобразующих систем. Получены математические модели охлаждающего и огнезащитного действия предложенных систем при изменении их количественного. Для каждой системы определена зависимость адгезионной прочности слоя от ее количественного состава. Экспериментальным путем определена максимальная толщина слоя геля для наиболее распространенных в строительстве материалов: стали, бетона, древесины, полиэтилена. Исследована коррозионная активность водных растворов компонентов гелеобразующих систем по отношению к материалам, используемым в пожарной технике. Экспериментально определены оптимальные значения массового содержания каждого из компонентов гелеобразующих огнетушащих составов. Разработана и изготовлена

портативная установка тушения гелеобразующими составами. Проведены испытания оптимизированного состава при тушении модельных очагов пожара твердых горючих материалов. Разработаны рекомендации по применению предложенных гелеобразующих составов для тушения пожаров твердых горючих материалов.

ANNOTATION

Babenko A.V. Using of the gel-forming phenomenon for increase extinguishing efficiency of liquid fire fighting solutions. – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of candidate of technical science in the speciality 21.06.02 – “Fire safety”, Academy of civil defends of Ukraine, Kharkiv 2004.

The increase of efficiency firefighting is predicted at the expense of retention of water on vertical and inclined surfaces. Offered and was proved fire extinguishing of firm combustible materials with use gel-forming systems on the basis of inorganic connections. A basis offered gel-forming systems is sodium polyserositis. For use in quality the catalyst the water solutions of salts polyvalence of metals are offered. The mathematical models for each of making extinguishing of action are received at changeable quantitative structure of systems. For each system the dependence adhesive of durability of a layer from its quantitative structure is determined. The optimum meanings of the mass contents of each of components gel-formed extinguishing of structures are experimentally determined. Is developed and the portable installation of suppression gel formed by structures is made. The tests extinguishing of action optimized gel-forming of structure are carried out. The recommendations for application offered gel-forming of structures for suppression of fires of firm combustible materials developed.

Підп. до друку 27.01.05	Формат 60x84 1/16
Друк ризограф	Ум. друк. арк. 1,0
Тираж 100 прим.	Зам. 278

АЦЗУ, 61023, м. Харків, вул. Чернишевського, 94