

УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

САВЧЕНКО ОЛЕКСАНДР ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 614.84

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОЖЕЖОГАСІННЯ ОБ'ЄКТІВ
ЖИТЛОВОГО СЕКТОРУ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ
ГЕЛЕУТВОРЮЮЧИХ СКЛАДІВ**

Спеціальність 21.06.02 – Пожежна безпека

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2008

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Університеті цивільного захисту України, МНС України

Науковий керівник:	кандидат хімічних наук, доцент Кіреєв Олександр Олександрович, Університет цивільного захисту України, доцент кафедри процесів горіння
Офіційні опоненти:	доктор технічних наук, професор Беліков Анатолій Серафимович, професор кафедри безпеки життєдіяльності Придніпровської державної академії будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України
	кандидат технічних наук, доцент, Заїка Петро Іванович, завідувач кафедри пожежно-профілактичної роботи Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України

Захист відбудеться “___” квітня 2008 р. о __ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.707.01 при Університеті цивільного захисту України за адресою: 61023, м. Харків, вул. Чернишевського, 94.

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

Автореферат розісланий “___” березня 2008 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

І.А. Чуб

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. У 2006 році в Україні зафіксовано 48100 пожеж. З них 40308 (83,8%) сталося у житловому секторі. Застосування піни, газів, порошків, газоаерозольних засобів пожежогасіння при ліквідації пожеж в будівлях не отримало широкого поширення. При гасінні переважної більшості пожеж на об'єктах житлового сектора в Україні використовується вода.

До позитивних властивостей води як вогнегасного засобу можна віднести високу теплоємність, високу теплоту пароутворення та значну термостійкість. Натомість, за різними оцінками, від 80 до 98% води не бере участі в гасінні пожежі внаслідок її стікання з вертикальних та похилих поверхонь, що зумовлено її низькою в'язкістю та великим поверхневим натягом. Тому однією з істотних складових побічних збитків від пожеж у житловому секторі є заливання водою нижніх поверхів. Майже 77% загальної кількості побічних збитків припадає саме на пожежі у житловому секторі. Проблемі підвищення ефективності вогнегасних засобів на основі води присвячені роботи Н.В. Биковської, М.В. Казакова, І.А. Корольченка, О.В. Бабенка, М.В. Одинця, Г.В. Яворського, а також G. Hafos, W. Mulltr, R. Ross.

Одним із шляхів підвищення ефективності пожежогасіння об'єктів житлового фонду є збільшення часу контактування води з поверхнями у зоні горіння. Для цього необхідно запобігти її стіканню з вертикальних та похилих поверхонь. Це можливо здійснити шляхом використання на пожежах у житловому секторі гелеутворюючих складів (ГУС). При потраплянні таких складів на поверхні на них утворюється плівка гелю, яка утримує значну частину води, внаслідок чого забезпечується підвищення ефективності гасіння пожеж. Тому вибір компонентів ГУС, оптимізація їх якісного та кількісного складу з урахуванням специфіки горючого завантаження в квартирах є перспективним напрямком наукових досліджень, результати яких спрямовані на скорочення часу гасіння об'єктів житлового фонду.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційне дослідження проводилось у межах науково-дослідної роботи у відповідності з Пріоритетними напрямками фундаментальних та прикладних досліджень вищих навчальних закладів та науково-дослідних установ МНС України на 2005 – 2007 роки (НДР №0105U007679).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є скорочення часу гасіння пожеж на об'єктах житлового сектору.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз методів ліквідації пожеж у житловому секторі за допомогою рідинних засобів пожежогасіння;

- обґрунтувати вибір гелеутворюючих систем для цілей пожежогасіння приміщень житлових будівель та дослідити їх вплив на конструкції та матеріали, найбільш поширені в квартирах;
- дослідити час вогнезахисної дії обраного ГУС на матеріалах, що широко застосовуються у житловому секторі, та побудувати відповідні математичні моделі;
- побудувати математичну модель часу гасіння пожежі в квартирі при використанні гелеутворюючої системи з урахуванням маси вогнегасної речовини;
- розробити математичну модель для оцінки ефективності пожежогасіння за допомогою гелеутворюючих складів з різним масовим вмістом компонентів, оцінити її адекватність;
- визначити оптимальний склад запропонованої гелеутворюючої системи;
- розробити рекомендації щодо використання обраного гелеутворюючого складу для ліквідації пожеж у будівлях житлового сектора.

Об’єкт дослідження – процес гасіння пожеж у житловому секторі із використанням рідинних засобів пожежогасіння (РЗП).

Предмет дослідження – процес гасіння пожеж в будівлях шляхом використання гелеутворюючих складів.

Методи дослідження – теорія планування експерименту, методи розв’язання оптимізаційних задач, методи імітаційного моделювання, методи математичної статистики, системного аналізу і теорії алгоритмів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- вперше встановлена відмінність вогнезахисної дії ГУС в залежності від виду твердих горючих матеріалів (ТГМ) та отримані математичні моделі для визначення показників вогнезахисної дії гелеутворюючого складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ на матеріалах, поширених у житловому секторі;
- вперше розроблена технологія нанесення гелеутворюючих складів, яка дозволяє припинити розповсюдження вогню по поверхні ТГМ;
- вперше запропонована феноменологічна модель пожежогасіння гелеутворюючими складами, яка дозволяє визначати ефективність рідинних засобів пожежогасіння при збільшенні площі пожежі за лінійним законом;
- вперше запропонована модель гасіння пожежі постійної площі з урахуванням часу повторного займання, кількісного та якісного складу горючого завантаження, а на її основі визначено оптимальний склад гелеутворюючої системи $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ для гасіння пожеж на об’єктах житлового сектору.

Практичне значення отриманих результатів. Запропонована модель гасіння пожежі постійної площі з урахуванням часу повторного займання, кількісного та якісного складу пожежного завантаження дозволяє розрахувати параметри пожежі в залежності від конкретних умов, визначати концентрації ГУС, при яких час гасіння буде найменшим. Отримана

математична модель середньозваженого часу повторного займання для квартири з середньостатистичним горючим завантаженням дозволяє визначати оптимальний склад ГУС для гасіння пожеж на об'єктах житлового сектору. Використання запропонованого ГУС сприяє скороченню часу гасіння пожеж у житлових будівлях та зниженню матеріальних збитків від заливання.

Методика досліджень швидкості хімічної реакції горіння твердих горючих матеріалів впроваджена в навчальний процес Університету цивільного захисту України. Оптимальний гелеутворюючий склад $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ та рекомендації щодо його застосування впровадженні у практичну діяльність підрозділів ГУ МНС України в Харківській області, що дозволило підвищити ефективність оперативних заходів, пов'язаних з гасінням пожеж на об'єктах житлового сектору. На пожежах, де використовувався запропонований склад, відмічено зменшення збитків від заливання нижніх поверхів приблизно на 10 – 15%.

Особистий внесок полягає в: дослідженні методів ліквідації пожеж у житловому секторі за допомогою рідинних засобів пожежогасіння; розробці та виготовленні автономної установки гасіння гелеутворюючими складами; отриманні математичних моделей часу теплоізолюючої та вогнезахисної дії на матеріалах, поширених у житловому секторі; проведенні експериментальних досліджень на визначення займистості, розповсюдження полум'я по поверхні ТГМ, оброблених ГУС; розробці вихідних даних та аналізі коефіцієнту використання РЗП для феноменологічної моделі пожежогасіння гелеутворюючими складами; розробці моделі гасіння пожежі сталої площі з урахуванням часу повторного займання, кількісного та якісного складу горючого завантаження; отриманні моделі середньозваженого часу повторного займання для квартири з середньостатистичним горючим завантаженням; розробці рекомендацій щодо використання ГУС для ліквідації пожеж у будівлях житлового сектору.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційного дослідження викладені на: II міжнародній науково-технічній конференції “Шляхи автоматизації та комп'ютеризації діяльності МНС України” (м. Харків, 2005); науково-практичній конференції “Пожежна та техногенна безпека” (м. Черкаси, 2005); 3-й міжнародної конференції “Сотрудничество для решения проблемы отходов” (м. Харків, 2006); міжнародній науково-практичній конференції “Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту” (м. Черкаси, 2006); VIII Всеукраїнської науково-практичній конференції рятувальників “Проблеми зниження ризику виникнення надзвичайних ситуацій в Україні” (м. Київ, 2006); IV міжнародній науково-практичній конференції “Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация” (м. Мінськ, 2007); міжнародній науково-практичній конференції “Пожежна безпека-2007” (м. Черкаси, 2007); науково-технічних семінарах УЦЗУ МНС України.

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 8 статей у спеціалізованих наукових виданнях, що входять до Переліку ВАК України, і 7 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів і загальних висновків, містить 179 сторінок друкованого тексту (з них 140 сторінок основного тексту), 24 таблиці, 28 ілюстрацій і 7 додатків, списку використаних джерел з 119 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

В першому розділі проводиться аналіз властивостей рідинних засобів пожежогасіння, які використовуються для гасіння пожеж у житловому секторі.

Аналіз горючого завантаження у квартирах показав, що найбільшу частку горючого завантаження складає деревина та вироби на її основі – 47,1%, але найбільше тепловиділення можливе при горінні оббивного матеріалу – 40,3% від загалу (рис.1).



Рис. 1. Відсоткове співвідношення горючого завантаження та тепловиділення в квартирі

На відміну від виробничих приміщень, складів тощо, кількість і склад горючого завантаження у квартирах не регламентується. Тому для гасіння приміщень житлового сектора оптимальний вогнегасний склад необхідно визначати за його ефективністю для усіх основних горючих матеріалів, які у ньому представлені.

Практично усі пожежі у будівлях ліквідуються за допомогою води. Внаслідок великого поверхневого натягу та низької в'язкості більша її частина стікає з вертикальних та похилих поверхонь та заливає нижні поверхи. Проаналізовані переваги та недоліки використання для гасіння пожеж у житловому секторі вогнегасних засобів на основі води. Проаналізований механізм дії модифікуючих добавок, які використовуються для збільшення ефективності пожежогасіння. Наведені основні шляхи підвищення ефективності рідинних засобів пожежогасіння. Розглянуті основні прийоми теплозахисту конструкцій та матеріалів на пожежі, а також проаналізовано варіанти використання РЗП для оперативного вогнезахисту.

Показано, що підвищити ефективність пожежогасіння об'єктів житлового сектора та зменшити збитки від заливання нижніх поверхів можливо шляхом застосування ГУС. Показано, що на сьогодні концентраційні області гелеутворення встановлені для великої кількості ГУС, але практичне використання багатьох з них є недоцільним. Наприклад, в ГУС $\text{NaOH-Al}_2(\text{SO}_4)_3$ каталізатор гелеутворення – досить коштовний компонент, а гелеутворення відбувається при його мінімальній концентрації 20 мас.%. Відмічено, що в літературі наведені дані випробувань ГУС для гасіння модельних вогнищ тільки на деревині. Попередніми дослідженнями встановлено, що на різних ТГМ вогнегасна та вогнезахисна дія ГУС буде проявлятися по-різному, та враховуючи різноманітність горючого завантаження у квартирах, обґрунтована доцільність проведення досліджень вогнезахисної дії гелеутворюючих складів на матеріалах, найбільш поширених в житлових будівлях.

Сформульована задача дослідження – скорочення часу гасіння об'єктів житлового сектора, що представлена у виді сукупності локальних задач.

В другому розділі досліджується специфіка горючого завантаження об'єктів житлового сектора та обґрунтовується вибір гелеутворюючого вогнегасного складу.

Враховуючи різноманітний склад горючого завантаження в житлових приміщеннях, для вирішення задач, поставлених у роботі, необхідно проведення великої кількості експериментальних досліджень. Проведення досліджень на усіх видах матеріалів, які застосовуються в житловому секторі, неможливе з об'єктивних причин. Тому в кожному з видів горючого завантаження були обрані найбільш поширені горючі матеріали, які їх складають. В якості деревовмісних матеріалів були обрані матеріали, що широко застосовуються в оздобленні квартир та матеріалів для виготовлення меблів, а саме деревинно-волокнисті плити та деревинно-стружечні плити. В якості складової пластмаси було обрано полівінілхлорид як найбільш поширений пластик, який у великих об'ємах присутній в квартирах у виробках на його основі: лінолеум, труби, рами, ізоляція кабелів, побутова техніка та ін. Килими, одяг та оббивні матеріали меблів були включені в групу текстильних виробів. Для досліджень були обрані натуральне текстильне волокно – вовна та хімічне – лавсан. Наводяться фізико-хімічні характеристики обраних матеріалів.

Обґрунтовано вибір гелеутворюючої вогнегасної системи, зокрема запропоновані ГУС, які складаються з двох розчинів. Перший являє собою

водний розчин полісилікату натрію ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$), а другий – водний розчин солі: сульфату алюмінію, сульфату магнію та хлориду кальцію.

Наведено опис фізико-хімічних показників полісилікату натрію як основи ГУС та каталізаторів гелеутворення, а також представлено способи їх отримання. Акцентовано увагу, що CaCl_2 є багатотоннажним відходом при виробництві соди за аміачним способом. Приводиться методика приготування робочих розчинів ГУС.

Обмеження застосування будь-якого вогнегасного засобу зумовлено його токсичністю, корозійними властивостями, а також шкідливою дією на оброблені ним конструкції та обладнання. Враховуючи відсутність даних стосовно впливу нанесених гелевих покриттів на матеріали, які знаходяться у квартирах, в роботі були проведені дослідження впливу шару гелю на матеріали, які широко представлені у приміщеннях житлового сектора.

Вплив гелю на визначені матеріали досліджувався із використанням теорії планування експерименту. Це дозволило отримати дані щодо впливу ГУС як з надлишком гелеутворювача, так і з надлишком каталізатора гелеутворення.

В роботі показано, що досліджені склади без механічного впливу осипаються упродовж 2-14 діб після нанесення на поверхню (винятком є тільки ГУС з надлишком CaCl_2 , нанесений на поверхню ПВХ панелей. Осипання настає через 27-29 діб).

Встановлено, що ксерогель легко видаляється механічним способом (ганчіркою, віником, шкребком та ін.) відразу після його висихання (≈ 48 годин) та не пошкоджує матеріали, поширені у житлових будівлях. На основі проведених досліджень, а також інформації, що ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2\text{-CaCl}_2$ переважає інші системи за вогнегасною та охолоджуючою дією на деревині, для подальших досліджень обрано ГУС силікат натрію-хлорид кальцію.

В третьому розділі проводяться дослідження вогнезахисних особливостей ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2\text{-CaCl}_2$ на матеріалах, поширених у житловому секторі.

Дослідження проводились експериментальним шляхом з використанням теорії планування експерименту, зокрема із використанням симплекс-решітчастого плану четвертого ступеня. При цьому, у якості функції відклику використовувався час теплоізолюючої та вогнезахисної дії.

Досліджувалась теплоізолююча і вогнезахисна дія ГУС на матеріалах, поширених у житловому секторі. А також визначалась протидія займистості та поширенню полум'я по поверхні твердих горючих матеріалів, оброблених ГУС.

Теплоізолюючі властивості визначались з використанням стандартної установки ОТМ (ГОСТ 12.1.044 – 89), за модифікованою методикою. Відмінністю від класичної методики було те, що час теплоізолюючої дії ГУС оцінювався при досяганні поверхнею, що обігрівається, температури 200°C . Зразки для проведення досліджень виготовлялись з сосни (за ГОСТ 9685-61) розмірами $12 \times 7 \times 1$ см. У геометричному центрі зразка робився напівотвір діаметром 3 мм, який не доходив до протилежного боку зразка на 1 мм. На цілу поверхню досліджуваного зразка методом набризкування наносився ГУС силікат натрію-хлорид кальцію з витратою $(1,5\text{--}2) \text{ л/м}^2$ (на обробку

одного зразка витрачалося (20 – 25) мл гелеутворюючого складу), що дозволяло утворювати шар гелю товщиною $1 \div 1,5$ мм. Товщина шару гелю визначалась гравіметричним методом. Установка виводилась у стандартному положенні у режим $(250 \pm 5)^\circ\text{C}$, у напівотвір зразка вводилась термопара (ТХА), зонт відсувався, зразок встановлювався на вогневу камеру. Час теплоізолюючої дії оцінювався при досягненні поверхнею, що обігривається, температури 200°C .

В результаті експериментальних досліджень була отримана математична модель теплоізолюючої дії ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2\text{-CaCl}_2$ при змінному кількісному складі системи, яка має вигляд:

$$\begin{aligned} \tau = & 477,7 \cdot x_1 + 392,7 \cdot x_2 + 185 \cdot x_3 - 353,4 \cdot x_1 \cdot x_3 - 256,7 \cdot x_3 \cdot x_2 - 691,4 \cdot x_2 \cdot x_1 + \\ & + 154,7 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot (x_1 - x_3) - 372,5 \cdot x_3 \cdot x_2 \cdot (x_3 - x_2) + 347,5 \cdot x_2 \cdot x_1 \cdot (x_2 - x_1) + \\ & + 1619,5 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot (x_1 - x_3)^2 + 130,6 \cdot x_3 \cdot x_2 \cdot (x_3 - x_2)^2 - 288,9 \cdot x_2 \cdot x_1 \cdot (x_2 - x_1)^2 - \\ & - 3304,1 \cdot x_1^2 \cdot x_2 \cdot x_3 + 4177,2 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3^2 - 1719,4 \cdot x_1 \cdot x_2^2 \cdot x_3, \end{aligned} \quad (1)$$

де, τ – час теплоізоляційної дії, x_1 – масовий вміст силікату натрію, x_2 , – масовий вміст хлориду кальцію x_3 – масовий вміст води.

Для прикладу на рис. 2 наведена залежність (1).

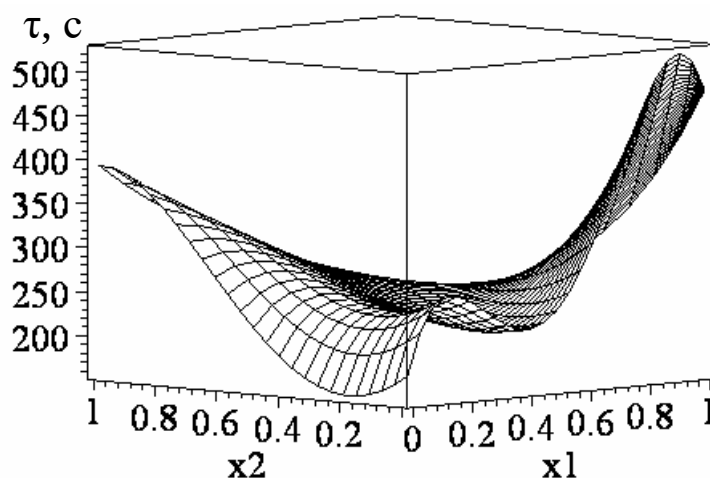


Рис. 2. Поверхня відклику часу теплоізолюючої дії (τ) гелеутворюючого складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2\text{-CaCl}_2$ в залежності від масового вмісту CaCl_2 (x_1) та $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ (x_2)

Відтворюваність процесу та однорідність дисперсій перевірялась за критерієм Кохрена (G_p). Для плану четвертого порядку при рівні значущості $\alpha = 0,05$, в кожній точці якого проводилося 3 досліди, табличне значення критерію Кохрена $G_p^T = 0,333$. Розраховане значення критерію Кохрена $G_p = 0,18$.

Адекватність моделі перевірялась за критерієм Стюдента (t). Для симплекс-решітчастих планів четвертого порядку для 15 експериментальних точок, у кожній з яких проводяться 3 досліди, та рівня значущості $\alpha = 0,05$,

табличне значення критерію Стюдента (t_p) складає 2,13. Розраховане значення критерію Стюдента (t_p) склало 0,66.

У роботі визначені значення факторів, які надавали максимальне значення функції відклику. Це здійснювалось з використанням алгоритму, структурна схема якого наведена рис. 3.

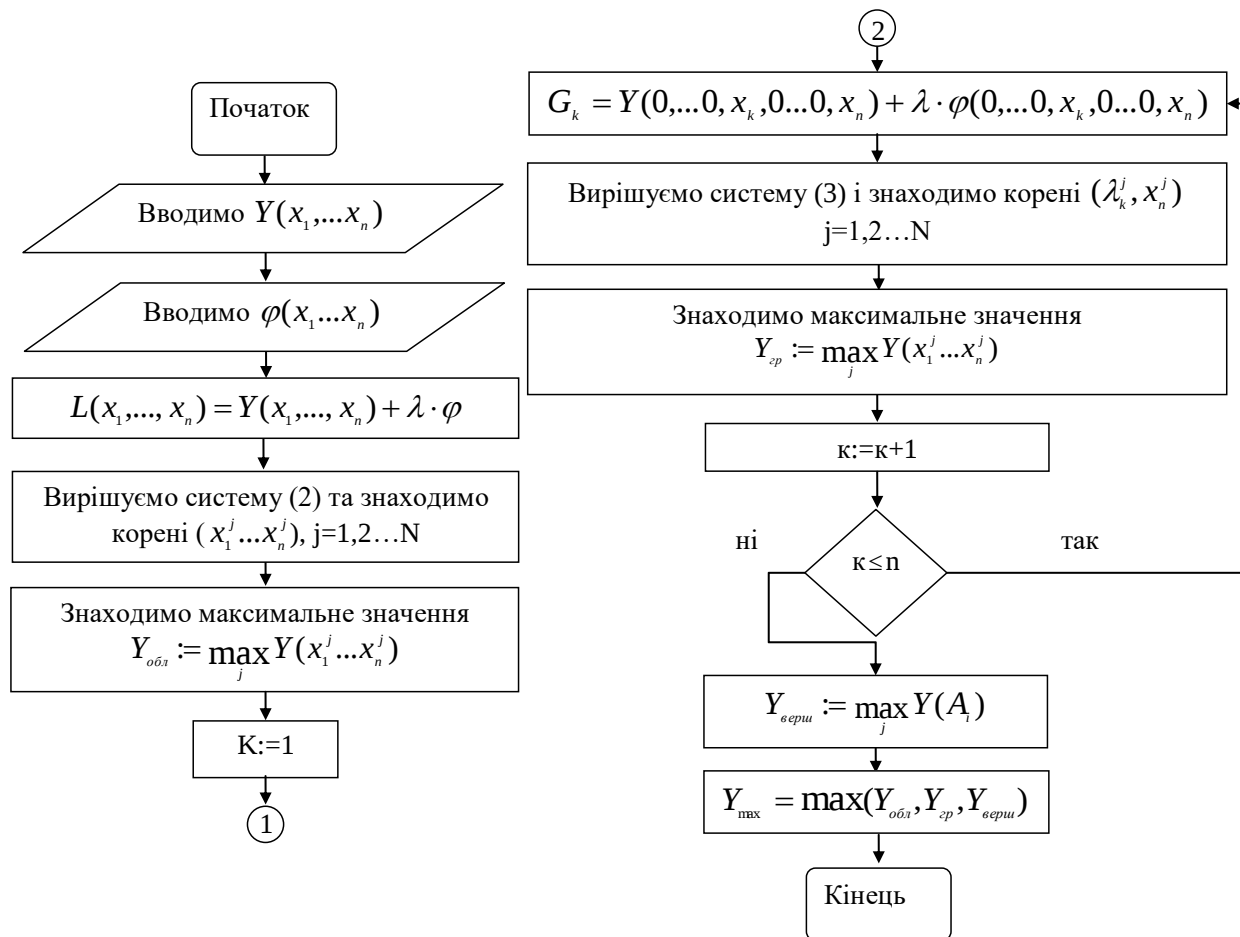


Рис. 3. Структурна схема алгоритму пошуку максимального значення функції відклику

Розв'язання наведеної задачі зводилось до наступного. Будувалась функція Лагранжа (L):

$$L(x_1, \dots, x_n) = Y(x_1, \dots, x_n) + \lambda \cdot \varphi(x_1, \dots, x_n), \quad (2)$$

де Y – функція цілі;

λ – множник Лагранжа;

φ – рівняння зв'язку.

Потім записувалась система алгебраїчних рівнянь, яка представляє частинні похідні по змінним та множнику Лагранжа:

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} = 0; \quad i=1,2,3; \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0. \quad (3)$$

Наступним етапом ця система алгебраїчних рівнянь розв'язувалась.

Далі вводилась функція G_k , з використанням якої записувалась інша система алгебраїчних рівнянь, яка представляє собою:

$$G_k = Y(0, \dots, 0, x_k, 0, \dots, 0, x_n) + \lambda \cdot \varphi(0, \dots, 0, x_k, 0, \dots, 0, x_n), \quad k=1, 2, \dots, n,$$

$$\frac{\partial G_k}{\partial x_i} = 0, \quad i=1, 2, 3; \quad \frac{\partial G_k}{\partial \lambda} = 0. \quad (4)$$

Після цього порівнювались значення функції цілі, які відповідають кореням першої та другої системи алгебраїчних рівнянь, і в якості значень факторів, які визначають оптимальний склад ГУС, приймалися значення коренів рівнянь, що відповідають найбільшому значенню функції цілі.

Використання цієї методики дозволило отримати найбільше значення теплоізолюючої дії 522 с при наступних концентраціях компонентів ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 2%, CaCl_2 – 13,1%, вода – 84,9%.

В роботі були отримані математичні моделі, які визначають час вогнезахисної дії ГУС на ДВП, ДСП, ПВХ. Основою експерименту був модифікований метод визначення групи важкогорючих матеріалів. З використанням цих моделей та методики, що описана вище, найбільший час вогнезахисної дії для ДВП склав 984 с при концентраціях компонентів ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 2%, CaCl_2 – 12,4%, вода – 85,6%.

У роботі встановлено, що використання ГУС дозволило збільшити час займання зразків ДВП – у 7,8 раз, ДСП – у 9,6 раз у порівнянні з традиційним підходом (при використанні води) (Рис.4.).

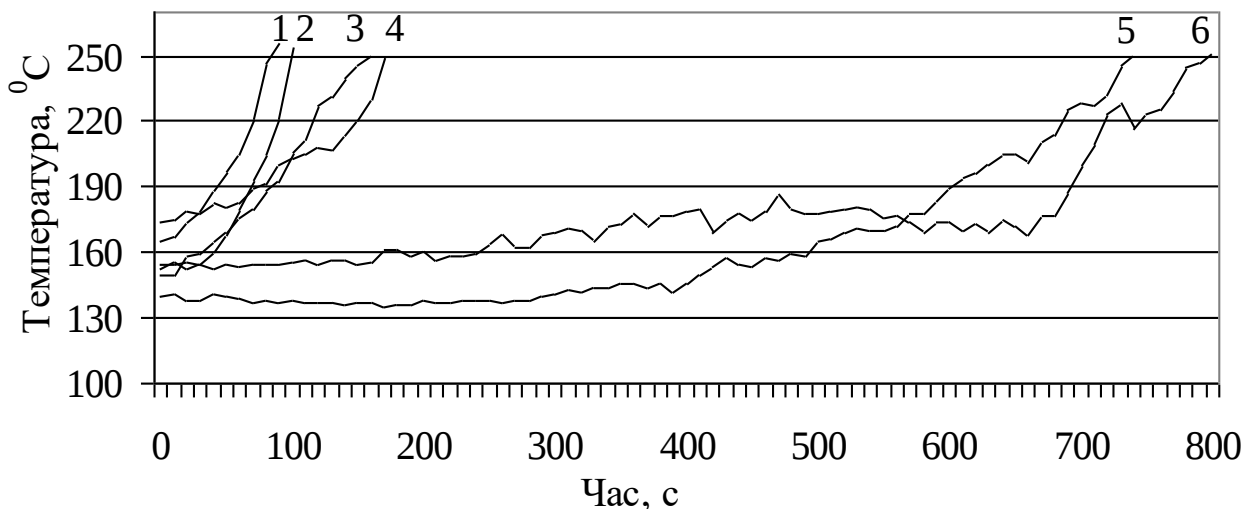


Рис. 4. Експериментальні залежності температури у верхній частині вогневої камери від часу: 1 – необроблений зразок ДВП; 2 – необроблений зразок ДСП; 3 – зразок ДСП, оброблений водою; 4 – зразок ДВП, оброблений водою; 5 – зразок ДВП, оброблений ГУС ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 18,36%, CaCl_2 – 1,34%); 6 – зразок ДСП, оброблений ГУС ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 18,36%, CaCl_2 – 1,34%)

Експериментальним шляхом для текстильних матеріалів (вовна та лавсан) було визначено вогнезахисну дію ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$. Дослідження проводилось з використанням ДСТУ 4155-2003 «Матеріали текстильні. Метод випробування на займистість». Отримані залежності аналогічні до (1). З використанням алгоритму, наведеного на рис. 3, визначено значення параметрів ГУС, які забезпечують найбільший час до займання досліджуваного матеріалу. Для вовни він склав 1276 с при $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - 15,1\%$, $\text{CaCl}_2 - 3,9\%$, вода – 81%.

Показано, що використання ГУС збільшує час займання натуральних матеріалів на один, а синтетичних – на два порядки у порівнянні з водою та у 4 і 65 раз відповідно у порівнянні з розчином ПАР.

З використанням рекомендацій по формуванню ГУС були проведені експериментальні дослідження займання та поширення полум'я по поверхні твердих горючих матеріалів. Показано, що використання ГУС дозволяє у 3,2 рази збільшити час займання зразків ТГМ при поверхневій густині теплового потоку 30 кВт/м^2 та у 3,3 – рази при поверхневій густині теплового потоку 20 кВт/м^2 у порівнянні з розчином піноутворювача.

З використанням ДСТУ Б В.2.7-70-98 (ГОСТ 30444-97) «Метод випробування на розповсюдження полум'я» були проведені експериментальні дослідження протидії поширенню полум'я на зразках ДВП. З урахуванням рекомендацій, отриманих в роботі, встановлено, що нанесення на поверхню ТГМ шару гелю 2 мм дозволяє припинити розповсюдження вогню по його поверхні (рис.5).



Рис. 5. Зовнішній вигляд досліджуваного зразка ДВП, обробленого ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - 16,56\%$, $\text{CaCl}_2 - 2,76\%$, товщиною шару 2 мм після випробувань (критична поверхнева густина теплового потоку $15,17 \text{ кВт/м}^2$)

У четвертому розділі обґрунтовується можливість гасіння пожеж у житлових приміщеннях за допомогою гелеутворюючих складів. Для цього

побудована феноменологічна модель часу ($\tau_{\text{гас}}$) гасіння пожежі сталої площі, яка має вигляд:

$$\tau_{\text{гас}} = \frac{l}{I \cdot K}, \quad (5)$$

де l – товщина шару вогнегасної речовини (ВР), яку необхідно нанести для гасіння, де I – інтенсивність подачі, K – коефіцієнт використання ВР.

Для пожежі, площа якої зростає за лінійним законом $S = S_0 + a \cdot \tau$, де S – площа пожежі, S_0 – початкова площа пожежі, a – швидкість поширення пожежі, τ – час поширення пожежі, відповідне рівняння має вигляд:

$$\tau_{\text{гас}} = \frac{1}{I \cdot K / l - a / S_0}. \quad (6)$$

Для прикладу за допомогою моделі виконано розрахунок часу гасіння пожежі, яка поширюється зі швидкістю $2 \text{ м}^2/\text{с}$ (гасіння відбувається за допомогою стандартних приладів подачі ВР, l прийнято для деревини та дорівнює $0,5 \text{ мм}$) – (рис. 6).

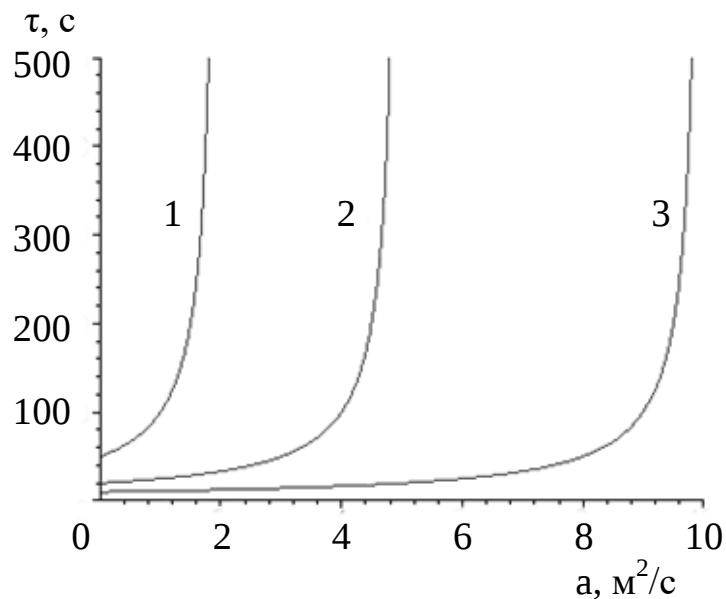


Рис. 6. Залежність часу гасіння (τ) від швидкості розповсюдження пожежі (a): 1 – гасіння компактним струменем; 2 – гасіння тонкорозпиленним струменем; 3 – гасіння гелеутворюючим складом

Як видно з рис. 6., таку пожежу компактним струменем води загасити неможливо. Час гасіння цієї ж пожежі за допомогою ГУС у 8 раз менший, ніж при використанні тонкорозпиленої води.

Розроблено модель гасіння пожежі сталої площі з урахуванням часу повторного займання, кількісного та якісного складу горючого завантаження:

$$S_{n.з}(i) = P \cdot (\tau - \tau_{n.з(i)}) / (k_{n.з} \cdot l), \quad (7)$$

де, $S_{n.з}(i)$ – площа повторного займання i -го матеріалу, $k_{n.з}$ – коефіцієнт площі горіння, P – витрата ВР, l – товщина шару ВР, яку необхідно нанести для гасіння, τ – час гасіння, $\tau_{n.з(i)}$ – час повторного займання i -го матеріалу.

За умови виконання визначених припущень модель дозволяє здійснювати оцінку часу гасіння пожежі постійної площі різними складами ГУС, враховуючи наявність різних горючих матеріалів. Для n -матеріалів вираз (7) набуває вигляду:

$$\begin{aligned} S_{n.з}(i) &= \sum_i^n S_{n.з}(i) = \sum_i^n P \cdot (\tau - \tau_{n.з(i)}) \cdot \omega(i) / (k_{n.з} \cdot l) = \\ &= P \cdot (\tau - \sum_i^n \tau_{n.з(i)} \cdot \omega(i)) / (k_{n.з} \cdot l) = P \cdot (\tau - \tau_{ср.н.з.}) / (k_{n.з} \cdot l), \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{де } \omega(i) \text{ – доля у площі покриття } i\text{-го матеріалу, } \tau_{ср.н.з.} = \sum_i^n \tau_{n.з(i)} \cdot \omega(i)$$

середньозважений час повторного займання горючих матеріалів.

Для перевірки адекватності запропонованої моделі були проведені експериментальні дослідження визначення часу та площі повторного займання різних видів горючих матеріалів після їх гасіння ГУС. Для цього використовувалось вогнище пожежі з сумарною площею відкритих поверхонь $0,27 \text{ м}^2$, на яке діяв постійний тепловий потік з потужністю $20 \pm 0,5 \text{ кВт/м}^2$. Фіксувалась кількість штабелів, які займалися після їх гасіння ВР (ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ 3,8%– CaCl_2 11,4% або вода). Теоретичне значення площі повторного займання розраховувались за виразом (8) і порівнювались з площею повторного займання під час експерименту. Так як похибки розбіжностей складають (10 – 20)%, то можна стверджувати про адекватність розробленої математичної моделі гасіння пожежі постійної площі з урахуванням часу повторного займання, кількісного та якісного складу горючого завантаження.

В роботі одержано вираз середньозваженого часу повторного займання для середньостатистичної квартири, який має вигляд:

$$\begin{aligned} \tau_{ср.н.з.} &= 154,49 + 379,87 \cdot x_1 + 679,49 \cdot x_2 + 735,57 \cdot x_1 \cdot (1 - x_1 - x_2) \cdot (2x_1 - 1 + x_2) + \\ &+ 1022,77 \cdot (1 - x_1 - x_2) \cdot x_2 \cdot (1 - x_1 - x_2) - 851,1 \cdot x_2 \cdot x_1 \cdot (x_2 - x_1) + \\ &+ 3606,65 \cdot x_1 \cdot (1 - x_1 - x_2) \cdot (2x_1 - 1 + x_2)^2 - 178,57 \cdot (1 - x_1 - x_2) \cdot x_2 \cdot (1 - x_1 - 2x_2)^2 + \\ &+ 1766,21 \cdot x_2 \cdot x_1 \cdot (x_2 - x_1)^2 + 5164,98 \cdot x_1^2 \cdot x_2 \cdot (1 - x_1 - x_2) + \\ &+ 4282,72 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot (1 - x_1 - x_2)^2 + 3581,83 \cdot x_1 \cdot x_2^2 \cdot (1 - x_1 - x_2) + \\ &+ 71,26 \cdot x_1 \cdot (1 - x_1 - x_2) - 965,72 \cdot (1 - x_1 - x_2) \cdot x_2 - 231,63 \cdot x_2 \cdot x_1. \end{aligned} \quad (9)$$

Найбільше значення часу повторного займання визначалось аналогічно до алгоритму, схема якого наведена на рис. 3. Після аналізу отриманої моделі було визначено екстремум функції відклику, який склав 844 с при концентрації ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - 3,8\%$, $\text{CaCl}_2 - 11,4\%$ (рис. 7).

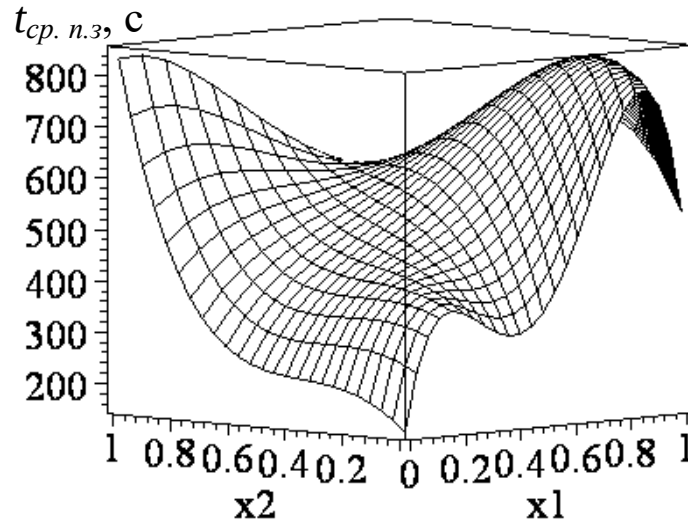


Рис. 7. Поверхня відклику середньозваженого часу повторного займання ($t_{cp. п.з}$) квартири з середньостатистичним горючим завантаженням при його обробці ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ в залежності від масового вмісту CaCl_2 (x_1) та $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ (x_2)

Розрахована вартість запропонованого ГУС (за цінами на 01.11.2006р.), яка склала 81 грн. за 1 тону, а також для складу оптимального для деревини, – 113 грн. за 1 тону.

За виразом (9) було розраховано час гасіння пожежі сталої площі отриманим ГУС, водою та складом, оптимальним для деревини. При розрахунках площа пожежі варіювалась від 100 до 300 m^2 з кроком у 50 m^2 . Аналіз засвідчив, що в усіх випадках розрахований сумарний час гасіння пожежі отриманим складом найменший.

Для натурного випробування запропонованого складу була розроблена та виготовлена автономна установка гасіння гелеутворюючими складами (АУГГУС) (рис. 8).

Натурне випробування запропонованого ГУС проводилось у типових умовах пожежі житлового сектора. Результати випробувань показали, що для гасіння у квартирі пожеж площею (3 – 6) m^2 достатньо запасу гелеутворюючих компонентів, який знаходиться в АУГГУС (16 л). Для гасіння цих пожеж традиційною вогнегасною речовиною – водою потрібний був її об'єм у 2-3 рази більший, ніж ГУС. Внаслідок меншої витрати та зниженню часу гасіння на пожежах, де використовувався ГУС, відмічено зменшення збитків від заливання нижніх поверхів приблизно на 10 – 15%.



Рис. 8. Зовнішній вигляд автономної установки гасіння гелеутворюючими складами: 1 – ємкість з водним розчином гелеутворювача; 2 – редуктор; 3 – система гнучких шлангів; 4 – манометр низького тиску; 5 – балон зі стисненим повітрям; 6 – ємкість з водним розчином коагулятора; 7 – стволи з пістолетними рукоятками

Наведені економічні розрахунки зменшення збитків від пожеж у житловому секторі. Економічний ефект від застосування запропонованого ГУС розраховано за методом порівняння двох варіантів гасіння пожежі сталої площі – базового та запропонованого. Показано, що використання даного складу дозволить зменшити матеріальні втрати від пожеж на об'єктах житлового сектора приблизно на 10%.

Виходячи з результатів експериментальних досліджень вогнегасних та вогнезахисних властивостей ГУС, проведених практичних випробувань на реальних пожежах, літературних даних фізико-хімічних показників, розроблені рекомендації та тактичні прийоми використання запропонованого ГУС для гасіння пожеж об'єктів житлового сектору.

ВИСНОВКИ

У роботі отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності забезпечують вирішення науково-практичної задачі щодо скорочення часу гасіння пожеж та загальних витрат ВР на об'єктах житлового сектору.

1. На основі аналізу літературних джерел зроблено висновок про доцільність використання гелеутворюючих вогнегасних складів на основі неорганічних сполук для гасіння пожеж об'єктів житлового фонду за умови вирішення ряду завдань, зумовлених специфікою його горючого завантаження.

2. На підставі результатів лабораторних досліджень отримана інформація стосовно поведінки та впливу гелевих плівок на матеріали, які поширені у житловому секторі. Обґрунтовано вибір ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ для подальших досліджень.

3. На основі результатів експериментальних досліджень часу теплоізолюючої, вогнезахисної дії обраного ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2\text{-CaCl}_2$ на матеріалах, що широко застосовуються у житловому секторі, отримані відповідні математичні моделі. Експериментально встановлено, що нанесення на поверхню ТГМ шару гелю 2 мм дозволяє припинити розповсюдження вогню по його поверхні.

4. Розроблена математична модель гасіння пожежі сталої площі з урахуванням часу повторного займання, кількісного та якісного складу горючого завантаження. Адекватність моделі підтверджено експериментально. На основі моделі визначено оптимальний склад ГУС з концентраціями $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 3,8%, CaCl_2 – 11,4% для гасіння пожеж на об'єктах житлового сектора.

5. Розроблена та виготовлена автономна установка гасіння ГУС. За її допомогою проведено практичне випробування оптимізованого складу ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2\text{-CaCl}_2$ на реальних пожежах.

6. Проведений аналіз економічної доцільності використання запропонованого гелеутворюючого складу для гасіння пожеж на об'єктах житлового сектора. Показано суттєвий економічний ефект від застосування запропонованого ГУС.

7. На основі результатів експериментальних досліджень, практичного випробування ГУС на реальних пожежах розроблені рекомендації щодо його використання для ліквідації пожеж у будівлях житлового сектора підрозділами МНС України.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Киреев А.А., Щербина О.Н., Савченко А.В. Пути совершенствования методов тушения пожаров в жилом секторе. // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: АО “Фолио”, 2004 – Вып. 16. – С. 90 – 94.

2. Киреев А.А., Жерноклёв К.В., Савченко А.В. Перспективные направления снижения экономического и экологического ущерба при тушении пожаров в жилом секторе // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. праць. – Харків: ХДТУБА, ХОТБ, АБУ, 2005. – Вип. 31 – С. 295–299.

3. Кіреєв О.О., Савченко О.В., Тарасова Г.В., Александров О.В. Дослідження теплозахисної дії гелевих плівок // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: АО “Фолио”, 2005. – Вып. 18. – С. 82 – 86.

4. Савченко О.В., Кіреєв О.О., Альбоций В.М., Данільченко В.А. Дослідження вогнезахисної дії гелевих плівок на матеріалах, розповсюджених у житловому секторі // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2006. – Вып. 19. – С. 127 – 131.

5. Савченко О.В., Кіреєв О.О., Тригуб В.В., Жернокльов К.В. Попередження надзвичайних ситуацій при горінні полівінілхлориду // Проблеми надзвичайних ситуацій: Зб. наук. праць. – Харків: УЦЗУ, 2007. – Вип. 5. – С. 177 – 181.

6. Савченко О.В., Кіреєв О.О., Луценко Ю.В. Вогнезахисна дія гелеутворюючої системи силікат натрію-хлорид кальцію на вироби з

текстилю // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2007. – Вып. 21. – С. 228 – 233.

7. Савченко А.В., Кіреєв А.А., Шаршанов А.Я. Оценка времени тушения пожара в квартире при использовании гелеобразующих составов. Учет коэффициента использования огнетушащего вещества // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. праць. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ, АБУ, 2007. – Вип. 40. – С. 281 – 287.

8. Савченко О.В., Кіреєв О.О., Шаршанов А.Я. Модель гасіння пожежі постійної площі з урахуванням часу повторного займання, кількісного та якісного складу горючого завантаження // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2007. – Вып. 22. – С. 161 – 165.

9. Кіреєв О.О., Жернокльов К.В., Савченко О.В. Гелеутворюючі системи як засіб підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій під час ліквідації пожежі // Тези доповідей II міжнародної науково-технічної конференції “Шляхи автоматизації та компютеризації діяльності МНС України” – Харків: АЦЗУ, 2005. – С. 51-54.

10. Кіреєв О.О., Тарасова Г.В., Савченко О.В. Результати експериментальних досліджень теплоізоляційної дії гелеутворюючої системи силікат натрію - хлорид кальцію // Тези доповідей науково-практичної конференції “Пожежна та техногенна безпека” – Черкаси: ЧПБ, – 2005. – С. 271-274.

11. Кіреєв О.О., Савченко О.В. Шляхи зменшення збитків від пожеж у житловому секторі // Тези доповідей науково-практичної конференції “Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту” – Черкаси: ЧПБ України, 2005. – С. 20.

12. Кіреєв О.О., Тарасова Г.В., Тарахно О.В., Савченко О.В. Вогнегасні та вогнезахисні засоби на основі промислових відходів // Сборник материалов 3-й Международной конференции “Сотрудничество для решения проблемы отходов” – Харьков: АО «Фоліо», 2006. – С. 141.

13. Савченко О.В., Кіреєв О.О., Альбоший В.М., Данільченко В.А. Вогнезахисна дія гелеутворюючих систем на матеріалах ДВП, ДСП // Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції “Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту” – Черкаси: ЧПБ України, 2006. – С. 116-120.

14. Савченко О.В., Кіреєв О.О. Використання гелеутворюючих сумішей для підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій під час ліквідації пожежі // Матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників “Проблеми зниження ризику виникнення надзвичайних ситуацій в Україні” – Київ: УкрНДІПБ МНС України, 2006. – С. 123-126.

15. Савченко О.В., Кіреєв О.О. Результати експериментального дослідження займистості зразків ДСП, оброблених гелеутворюючим складами // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Пожежна безпека-2007”. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2007. – С. 400.

АНОТАЦІЯ

Савченко О.В. Підвищення ефективності пожежогасіння об'єктів житлового сектору шляхом використання гелеутворюючих складів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 21.06.02. – “Пожежна безпека”. Університет цивільного захисту України, Харків, 2008 р.

Визначено, що скоротити час гасіння об'єктів житлового сектору можна шляхом застосування гелеутворюючих складів. На основі літературних джерел показано, що горюче завантаження у будівлях має свою специфіку. Проведенні експериментальні дослідження та аналіз літератури засвідчив перспективність використання гелеутворюючого складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2\text{-CaCl}_2$ для гасіння житлових приміщень.

Отримані математичні моделі часу теплоізолюючої, вогнезахисної дії, гелеутворюючого складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2\text{-CaCl}_2$ на матеріалах, що широко застосовуються у житловому секторі. Аналітичним шляхом встановлені максимальні значення функції відклику отриманих моделей.

Експериментально встановлено, що нанесення на поверхню твердого горючого матеріалу шару гелю 2 мм дозволяє припинити розповсюдження вогню по його поверхні.

Розроблена феноменологічна модель гасіння пожежі в квартирі за допомогою гелеутворюючої системи. Зроблено висновок, що час гасіння пожежі з використанням ГУС значно менший у порівнянні з традиційними засобами пожежогасіння.

Розроблено модель гасіння пожежі сталої площі з урахуванням часу повторного займання, кількісного та якісного складу горючого завантаження та перевірена її адекватність. За умови виконання визначених припущень модель дозволяє здійснювати оцінку часу гасіння пожежі сталої площі різними складами ГУС, враховуючи наявність різних горючих матеріалів. Проведена оптимізація кількісного складу гелеутворюючої системи $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2\text{-CaCl}_2$ для гасіння пожежі в квартирі з середньостатистичним горючим завантаженням. Проведено натурне випробування запропонованого ГУС у типових умовах пожежі житлового сектору. Показано суттєвий економічний ефект від застосування запропонованого гелеутворюючого складу. На основі результатів експериментальних досліджень та практичного випробування на реальних пожежах розроблені рекомендації щодо використання гелеутворюючих складів для гасіння пожеж у житлових будівлях підрозділами МНС України.

Ключові слова: гасіння, гелеутворюючий склад, житловий сектор, оптимізація, горюче завантаження, час гасіння.

АННОТАЦИЯ

Савченко А.В. Повышение эффективности пожаротушения объектов жилого сектора путём использования гелеобразующих составов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.02. – “Пожарная безопасность”. Университет гражданской защиты Украины, Харьков, 2008 г.

Проанализированы недостатки современных способов и средств пожаротушения объектов жилого сектора. Прогнозируется уменьшение времени тушения пожара в жилом секторе при использовании гелеобразующих составов (ГОС) в качестве огнетушащего вещества. На основе литературных источников показано, что горючая загрузка в зданиях имеет свою специфику. Основой предложенных гелеобразующих систем является полисиликат натрия. Для использования в качестве коагуляторов рассматриваются сульфат алюминия, сульфат магния, хлорид кальция. Поведенные экспериментальные исследования и анализ литературы показал перспективность использования гелеобразующего состава $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ для тушения жилых помещений.

С использованием теории планирования эксперимента получены математические модели времени теплоизоляционного, огнезащитного действия гелеобразующего состава $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ на материалах, которые широко используются в жилом секторе. Аналитическим методом установлены максимальные значения функции отклика полученных моделей.

Учитывая то, что основным составляющим ГОС является вода, его огнетушащее действие, в основном, состоит в охлаждении ТГМ ниже температуры пиролиза. Механизм огнезащиты ГОС состоит из двух составляющих: химической и физической. Обе составляющие действуют одновременно. При нанесении ГОС на поверхность защищаемого материала, главным образом, проявляется охлаждающее действие геля. При нагревании начинается испарение химически несвязанной воды из гелевой пленки, плавление и разложение кристаллогидратов солей металлов. Одновременно происходит разведение зоны горения негорючими газами, которые образуются при разложении кристаллогидратов. При дальнейшем нагревании образуется ксерогель, который, в зависимости от концентрационного состава ГОС, вспучивается в большей или меньшей степени, тем самым образуя теплоизолирующий слой.

Экспериментально установлено, что нанесение на поверхность ТГМ слоя геля 2 мм позволяет остановить распространения огня по его поверхности.

Приведена феноменологическая модель тушения пожара в квартире с помощью гелеобразующего состава. Сделан вывод, что использование ГОС позволяет быстрее, чем водой, тушить пожар и дает возможность ликвидировать пожары с такими скоростями распространения, когда водой это сделать невозможно.

Приведена модель тушения пожара постоянной площади с учетом времени повторного воспламенения, количественного и качественного состава горючей загрузки. Адекватность модели проверена экспериментально. Проведена оптимизация количественного состава ГОС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{CaCl}_2$ для тушения пожара в квартире со среднестатистической горючей загрузкой.

Проведено практическое испытание ГОС на реальных пожарах. Показан существенный экономический эффект от использования предложенного гелеобразующего состава. На основе результатов экспериментальных исследований и практического использования на пожарах разработаны рекомендации по использованию гелеобразующих

составов для тушения пожаров в жилых помещениях подразделениями МЧС Украины.

Ключевые слова: тушение, гелеобразующий состав, жилой сектор, оптимизация, горючая загрузка, время тушения.

ABSTRACT

Savchenko O.V. Increasing of firefighting efficiency in residential buildings by means of gel-forming compositions use. – Manuscript.

The dissertation for seeking a scientific degree of candidate of technical sciences on a speciality 21.06.02 – “Fire Safety”. Civil Defence University of Ukraine, 2008.

It is determined that to reduce time of fire fighting in residential buildings is possible by means of gel-forming compositions use. Based on the analysis of sources it is defined that burning load in residential buildings is specific. Conducted experimental tests proved prospects in use of gel-forming composition $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2\text{-CaCl}_2$ in residential buildings

It is obtained mathematical models of time for heat-insolent and fire-proof action of gel-forming composition $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$. It is analytically defined the maximum function values of responding of obtained models.

The experiments proved that coating surface of solid burning material by layer of gel 2 millimeters allows stopping fire spread on its service.

It is developed phenomenological model of fire fighting in an apartment with the help of gel-forming system. It is concluded that time of fire fighting with gel-forming system is much shorter comparing with traditional means fire-fighting.

It is offered the model of fire fighting certain area taking into account time of repetitive inflammation, quantitative and qualitative composition of burning load and its checked adequacy. Provided determined tolerance probability the model allows to assess time of fire fighting on a certain area by the different gel-forming systems taking into account time presence of different burning materials. It is conducted optimization of qualitative composition of gel-forming system $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2\text{-CaCl}_2$ for fire fighting in an apartment with average burning load. It is conducted the test of offered gel-forming system in the typical fire conditions in residential buildings.

It is shown substantial economical effect from application of offered gel-forming composition.

Based on the result of experimental results and practical test in real fires the recommendations developed for use of gel-forming composition in residential buildings by subunits of MOE of Ukraine.

Key terms: fire fighting, residential buildings, optimization, burning load, time of fire fighting.

Підписано до друку 06.03.08. Формат 60х84/16.
Папір 80 г/м². Друк ризограф. Ум.друк. арк. 1,0
Тираж 100 прим. Вид. № 89/08. Зам.№

Відділення редакційно-видавничої діяльності
Університету цивільного захисту України
61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94

