

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

КІРЄЄВ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 614.8

**ГЕЛЕУТВОРЮЮЧІ ВОГНЕГАСНІ І ВОГНЕЗАХИСНІ ЗАСОБИ
ПІДВИЩЕНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СТОСОВНО ПОЖЕЖ КЛАСУ А**

21.06.02 – Пожежна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття
наукового ступеня доктора технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті цивільного захисту України, м. Харків

**Науковий
консультант**

доктор технічних наук, професор
Абрамов Юрій Олексійович,
Національний університет цивільного захисту
України, м. Харків, головний науковий співробітник
науково-дослідного центра

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Фомін Станіслав Леонідович,
Харківський національний університет будівництва та
архітектури,
професор кафедри залізобетонних і кам'яних
конструкцій;

доктор технічних наук, професор
Гивлюд Микола Миколайович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри будівельного виробництва;

доктор технічних наук, професор
Гуліда Едуард Миколайович,
Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності,
завідувач кафедри пожежної тактики та аваріо-
рятувальних робіт.

Захист відбудеться «__» _____ 2014 р о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.707.01 в Національному університеті цивільного захисту України за адресою: м. Харків, 61023, вул. Чернишевського, 94.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету цивільного захисту України за адресою: м. Харків, 61023, вул. Чернишевського, 94.

Автореферат розісланий «__» 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 64.707.01
кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник


А.О. Михайлюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблема гасіння пожеж, не зважаючи на велику увагу до неї, до цього часу далека від свого розв'язання. Основними горючими речовинами в більшості випадків пожеж є тверді горючі матеріали (ТГМ). В більшості випадків для гасіння таких пожеж використовують воду. Це обумовлено не тільки її доступністю і відсутністю токсичності, але в першу чергу унікальними фізико-хімічними властивостями рідкої води. Крім позитивних властивостей води як вогнегасної речовини вона має ряд недоліків. Одним з суттєвих недоліків води як вогнегасної речовини є низький коефіцієнт використання. Великі втрати води при гасінні пожеж обумовлені її стіканням з вертикальних і похилих поверхонь, а також ефектом плівкового кипіння. Це спричиняє збільшення її витрат, а також призведе до заливання нижніх поверхів.

Для зменшення втрат води запропоновано ряд підходів: введення до неї змочувальників і загусників, використання розпиленої води і тиксотропних композицій. Проблемою підвищення вогнегасних властивостей речовин займалися: Абдурагімов І.М., Агафонов В.В., Антонов А.В., Баланюк В.М., Баратов А.Н., Беліков А.С., Богданова В.В., Боровиков В.О., Воевода С.С., Гришин В.В., Додонов Е.Д., Дяченко А.О., Жартовський В.М., Казаков М.В., Касьянов М.А., Конев Е.В., Корольченко І.А., Краснянский М.Е., Кустов М.В., Молчанов В.П., Попов А.В., Тищенко А.М., Шароварников А.С., Шароварников С.А., Шереметьєв О.О., Шкоруп А.І., Харченко І.А., Chow W.K., Cowan G., Dewitte M., Hafos G., Mawhinney J.R., Ross R., Seeger P.G., Smith D.P., Watanabe S. Widelschek O. Завдяки цим розробкам вдалося в декілька разів зменшити втрати вогнегасних речовин і підвищити їх вогнегасну здатність в 2-3 рази. Але й такі вдосконалення не дозволили збільшити коефіцієнт використання вогнегасної речовини вище 50 %.

В зв'язку з цим актуальним є розробка вогнегасного засобу, що мав би комплекс властивостей, якого нема в існуючих вогнегасних засобах. В першу чергу необхідно забезпечити такому вогнегасному засобу суттєве зменшення втрат за рахунок стікання вогнегасної речовини з вертикальних та похилих поверхонь, а також зменшення втрат за рахунок ефекту плівкового кипіння. Одночасно з цим, такий вогнегасний засіб має виявляти високу охолоджуючу, інгібіруючу, розбавляючу та ізолюючу дію.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась в рамках науково-дослідних робіт у відповідності з пріоритетними напрямками фундаментальних і прикладних досліджень вищих навчальних закладів і науково-дослідних установ МВС і МНС України 2002-2010 років: «Гелеутворюючі вогнегасні склади на основі неорганічних сполук» (НДР № 0104U004050), «Розробка багатокомпонентних гелеутворюючих складів з покращеними вогнегасними характеристиками» (НДР № 0105U007679, «Розробка вогнезахисних складів підвищеної ефективності на основі гелеутворюючих систем» (НДР № 0108U004228,), «Розробка моделей вогнезахисних властивостей гелеутворюючих систем на

матеріалах поширених в житлових будівлях» (НДР № 0110U003263), в яких автор був керівником робіт.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності гасіння пожеж класу А за рахунок використання гелеутворюючих систем підвищеної ефективності.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести вибір такого складу гелеутворюючих систем, що забезпечить швидку втрату текучості та суттєве зменшення витрат вогнегасної речовини з-за стікання з вертикальних і похилих поверхонь, а також нівелює ефект плівкового кипіння;
- на основі аналізу основних механізмів припинення горіння, розробити принципи підбору складу гелеутворюючих композицій і провести такий вибір, що забезпечив би високі вогнегасні та оперативні вогнезахисні властивості, а також провести експериментальне визначення відповідних характеристик;
- розробити математичні моделі поведінки крапель компонентів гелеутворюючих систем (ГУС) у високотемпературній області та процесу охолодження нагрітих поверхонь гелевими шарами;
- встановити умови і параметри, що забезпечують недопущення займання і припинення горіння твердих горючих матеріалів під час використання ГУС;
- розробити практичні рекомендації щодо гасіння пожеж класу А за допомогою гелеутворюючих систем.

Об'єкт дослідження – процес гасіння пожеж класу А гелеутворюючими засобами.

Предмет дослідження – пожежегасіння та оперативний вогнезахист твердих горючих матеріалів з використанням гелеутворюючих систем.

Методи дослідження: хімічні методи – кислотно–основного титрування, гравіметричний, індикаторний метод визначення рН, були використані для аналізу розчинів, контролю їх хімічних характеристик; фізико-хімічні методи – термодинамічний, термогравіметричний, калориметричний, метод відриву кільця – були використані для оцінювання параметрів вогнегасних ГУС; фізичні методи – денсиметрії, скануючої калориметрії, методи визначення реологічних властивостей, визначення теплоємності – були використані для визначення фізичних властивостей компонентів гелеутворюючих систем; стандартні методики визначення вогнегасних і вогнезахисних характеристик вогнегасних речовин (ВР); теорія планування експерименту, методи математичного моделювання і математичної статистики – були використані для раціонального планування експерименту, обробки його результатів і вибору раціональних параметрів процесу пожежогасіння.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Вперше розроблено принципи вибору складу гелеутворюючих композицій, що забезпечують зниження втрат ВР, високі вогнегасні та оперативні вогнезахисні властивості, які полягають в тому, що компоненти ГУС забезпечують швидке гелеутворення, для чого мають містити хоча б

один компонент з високою здатністю інгібувати процес горіння, що в результаті взаємодії компонентів системи призводить до утворення шару гелю з високими ізолюючими властивостями, при цьому компоненти ГУС повинні проявляти високу охолоджувальну дію.

2. Подальший розвиток отримав термодинамічний підхід до визначення охолоджувальної дії водних розчинів, що полягає в розгляді термодинамічного циклу, який включає два шляхи переходу розчину із стану рідини у водяну пару.

3. Вдосконалено експериментальний метод визначення охолоджувальної дії рідинних вогнегасних складів, що полягає в застосуванні калориметричної методики оцінки кількості тепла, що відбирає подана на тверду поверхню рідина в умовах, які наближено до реальних.

4. Вперше розроблено математичні моделі процесу випарування крапель компонентів ГУС і процесу охолодження нагрітих поверхонь шарами гелів, на підставі яких оцінено мінімальний розмір крапель вогнегасних ГУС і встановлено характер залежності температури нагрітої поверхні від часу.

5. Вперше розроблено метод експериментального визначення часу повторного займання твердих горючих матеріалів (ТГМ), який полягає у встановленні часу до займання загашеного зразка горючого матеріалу під дією зовнішньої вогневої дії після їх обробки рідким вогнегасним складом.

6. Вперше експериментально визначено вогнегасні і оперативні вогнезахисні характеристики гелеутворюючих вогнегасних композицій підвищеної ефективності, які можна використати як в період локалізування пожежі (ГУС $\text{CaCl}_2(42\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$), так і при його ліквідуванні (ГУС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(5\%)+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(22\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%)$).

7. Вперше запропоновано феноменологічну модель гасіння пожеж класу А, особливістю якої є урахування коефіцієнту використання вогнегасної речовини, кількісних характеристик вогнегасних і вогнезахисних властивостей ГУС, а також можливості повторного займання та одержано оцінки ефективності пожежегасіння з використанням ГУС.

Практичне значення отриманих результатів. Використання розроблених ГУС дозволяє забезпечити підвищення вогнегасних характеристик ВР більш ніж в чотири рази порівняно з традиційним вогнегасним засобом - водою, оперативні вогнезахисні властивості таких засобів перевищують відповідні властивості води в десятки разів. Результати проведених досліджень є основою для впровадження в практику пожежегасіння підрозділами Державної служби України з надзвичайних ситуацій вогнегасних речовин нового покоління - гелеутворюючих вогнегасних систем.

Реалізацію висновків і результатів роботи здійснено шляхом використання підрозділами оперативно-рятувальних служб в Харківській та Черкаській областях ГУС під час гасіння пожеж, що забезпечило зменшення часу пожежегасіння та витрат вогнегасної речовини на (10-15)%, а також зменшення непрямих збитків від заливання нижніх поверхів на (20-25)%. В разі використання гелеутворюючих систем для оперативного вогнезахисту в

зоні теплового впливу пожежі, зафіксовано зменшення витрат вогнегасної речовини в 1,5-2 рази. Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес Національного університету цивільного захисту і Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля (у дисципліні «Хімія» тема – «Властивості неметалів»).

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати дисертаційної роботи були отримані автором самостійно. Особистий вклад автора полягає в: пропозиції загальної концепції двокомпонентних вогнегасних і вогнезахисних гелеутворюючих систем [8, 21, 34, 35]; обґрунтуванні загальних принципів вибору складу таких композицій, який забезпечує їх високі вогнегасні і оперативні вогнезахисні властивості [1, 2, 4, 6, 8, 10, 22]; розробці теоретичних і експериментальних методів підбору компонентів з високими охолоджувальними, інгібірувальними і ізолюючими властивостями [9, 11, 13, 17, 18, 20]; розробці експериментальних методів визначення оперативних вогнезахисних властивостей гелевидних шарів і часу повторного займання горючих матеріалів оброблених ГУС [6, 8, 10, 12, 15, 23]; у експериментальному визначенні вогнезахисних і вогнегасних характеристик більше 20 ГУС [6, 10, 15, 19, 22, 25, 26]; у пропозиції феноменологічної моделі гасіння пожеж класу А, що враховує вогнегасні і оперативні вогнезахисні властивості і врахування можливості повторного займання твердих горючих матеріалів [14, 16, 24, 27]; у пропозиції математичних моделей процесу випарування крапель компонентів ГУС і процесу охолодження нагрітих поверхонь шарами гелів [30-33]; у розробці і виготовленні автономної установки пожежогасіння з пневматичним розпилюванням компонентів ГУС [26]; розробці рекомендацій що до практичного застосування ГУС з підвищеною ефективністю для гасіння пожеж за участю ТГМ [26, 27]. Консультації по розробці математичних моделей надані д.т.н., проф. Абрамовим Ю.О. і к.ф.-м.н., доц. Шаршановим А.Я. Доц. Жерноклев К.В. і доц. Савченко О.В. брали участь в розробці і виготовленні лабораторних установок для визначення вогнегасної здатності ГУС при гасінні пожеж класу А і масовій швидкості вигорання деревини, обробленої ГУС.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційних досліджень докладались на: Науково-технічній конференції «Наглядно-профілактична діяльність в МНС України», Харків, 2004; Науково-практичній конференції «Природничі науки та їх використання діяльності служби цивільного захисту», Черкаси, 2005; II Міжнародній науково-технічній конференції «Пути автоматизации, информатизации и компьютеризации деятельности МЧС Украины», Харків, 2005; VIII Української науково-практичній конференції рятувальників «Проблеми зниження ризиків виникнення надзвичайних ситуацій в Україні», Київ, 2006; Міжнародній науково-практичній конференції «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации «ЧС-2006»», Гомель, 2006; II Міжнародній науково-практичній

конференції «Пожарная и аварийная безопасность объектов», Иваново, 2006; IV Міжнародній науково-практичній конференції «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация», Минск, 2007; Міжнародній науково-практичній конференції «Пожарна безпека –2007», Черкаси, 2007; Міжнародній конференції «Modern physical chemistry for advanced materials», Kharkiv, 2007; II Науково-практичній конференції «Природничі науки та їх використання у діяльності служби цивільного захисту» Черкаси, 2008; II Науково-практичній конференції «Актуальні проблеми технічних і природничих наук в забезпеченні цивільного захисту», Черкаси, 2009; Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальные проблемы Пожарной безопасности», Москва 2008; Науково-технічній конференції «Об'єднання теорії і практики – залог підвищення боєздатності оперативно-рятувальних підрозділів», Харків, 2009; VII Науково-технічній конференції «Об'єднання теорії і практики – залог підвищення постійної готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням», Харків, 2010; Науково-практичній конференції «Хімічна освіта в контексті хімічної безпеки: стан проблеми і перспективи», Київ, 2011; II Міжвузівській науково-практичній конференції «Прикладні аспекти застосування хімії у сфері цивільного захисту» Черкаси, 2011; VI Міжнародній науково-практичній конференції «Пожарная и аварийная безопасность», Иваново 2011; XI Міжнародній науково-практичній конференції «Пожарна безпека та аварійно-рятувальна справа: стан, проблеми і перспективи» Київ 2013.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 33 статті, з них 29 статей в спеціалізованих наукових виданнях, які входять до перелику ДАК України, 4 статей в наукових журналах Російської федерації та республіки Беларусь, 22 тез доповідей на перелічених вище вітчизняних та міжнародних конференціях і 2 патенти на винахід.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків і додатків. Загальний об'єм дисертації 348 сторінок (з них 343 сторінок основного тексту), 44 таблиці, 54 ілюстрації, 1 додатку, списку використаних літературних джерел з 235 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

В першому розділі проаналізовано сучасні тенденції розвитку засобів пожежегасіння. На основі аналізу основних механізмів і факторів, які визначають вогнегасну здатність речовин (рис. 1 і 2), 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 найбільшому ступені задіяні

всі основні механізми припинення горіння та інші фактори, що визначають вогнегасну здатність.

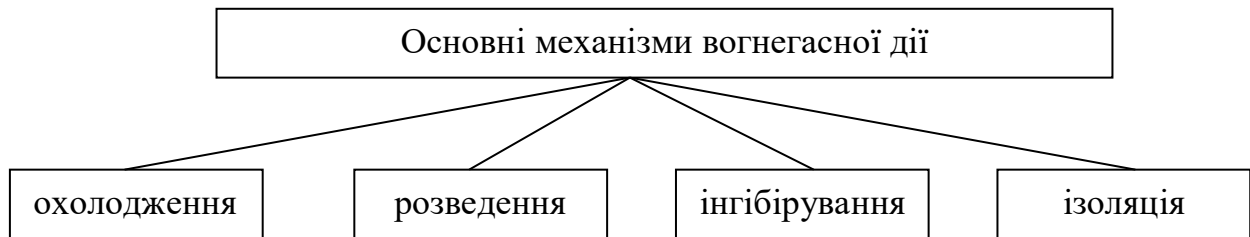


Рис.1. Основні механізми припинення горіння



Рис. 2. Основні фактори, що визначають здатність до гасіння

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

Таблиця 1

Ступені виявлення основних факторів, що визначають вогнегасну дію речовин

Тип вогнегасної речовини	фактори, що визначають вогнегасну дію					
	коеф. викорис-тання	проника-юча дія	охолод-жуюча дія	ізолююча дія	розріджу-юча дія	інгібіру-юча дія
вода	—	+	++	—	+	—
розчини	—	+	++	±	+	++
піни	±	—	—	±	+	—
порошки	—	—	—	+	—	++
аерозолі	—	—	—	+	±	++
гази — розріджувачі	—	—	—	—	+	—
гази — інгібітори	—	—	—	—	+	++

++ - дуже висока, + - висока, ± - середня, — - низька.

Порівняння різних типів вогнегасних речовин дозволяє зробити висновок, що рідинні засоби пожежегасіння мають ряд суттєвих переваг перед іншими вогнегасними речовинами. В першу чергу, вони мають високу охолоджуючу дію. Крім того, тільки рідини здатні змочувати поверхні твердих речовин і глибоко

проникати всередину пористих матеріалів, що дає можливість здійснювати «проливання» конструкцій і матеріалів. Введення до складу рідинних композицій цільових добавок дозволяє надати їм високих інгібірувальних, ізолюючих і флегматизуючих властивостей. Вирішення проблеми зменшення втрат рідинних засобів з причини стікання їх з вертикальних і похилих поверхонь дозволить значно підвищити їх вогнегасну здатність.

За результатами аналізу різних засобів пожежегасіння зроблено висновок, що шлях підвищення їх ефективності лежить у використанні ГУС з добавками які забезпечують їм високі охолоджуючі, інгібіруючі, ізолюючі і флегматизуючі властивості. Добитися максимального внеску всіх складових вогнегасної дії на практиці неможливо. В роботі обґрунтовано, що в якості пріоритетної властивості, яка забезпечить найбільший внесок в підвищення вогнегасних властивостей системи, треба обрати **коефіцієнт використання** вогнегасної речовини. В більшості рідинних засобів пожежегасіння цей показник не перевищує (10-20)%, а в деяких випадках є меншим за 1 %.

Вирішенням проблеми підвищення коефіцієнту використання вогнегасних речовин є застосування гелеутворюючих вогнегасних систем. Вони складаються з двох рідких складів (гелеутворювача і каталізатора гелеутворення), що окремо зберігаються і окремо, але одночасно подаються до осередку пожежі. Компоненти таких розчинів підбираються так, щоб при їх змішуванні на твердих поверхнях утворювалася нетекуча гелеподібна композиція. Гелеподібний шар, що утворився під час взаємодії гелеутворювача і каталізатора гелеутворення, міцно закріплюється на вертикальних і похилих поверхнях, що забезпечує майже повну відсутність втрат вогнегасної речовини за рахунок стікання. Для компонентів ГУС також характерно зменшення втрат рідкої вогнегасної речовини за рахунок ефекту плівкового кипіння.

Другим за важливістю фактором, що впливає на вогнегасні властивості, є здатність речовин до **інгібування** процесу горіння. Так відомо, що додавання деяких речовин до води збільшує її вогнегасну здатність більше ніж у три рази. Інші складові вогнегасної дії речовин вносять помітно менший внесок в цю характеристику і потребують окремого аналізу. Серед інгібіторів горіння добре зарекомендували себе гідрофосфати амонію, галогеніди і гідрокарбонати лужних металів, деякі сульфати, оксалати і карбонати, а також хлориди магнію і кальцію.

В другому розділі розглянуто результати теоретичних та експериментальних досліджень параметрів гелеутворення, фізико-хімічних характеристик ГУС і гелеподібних шарів, їх охолоджуючої дії, проведено математичне моделювання охолодження твердих горючих матеріалів гелеподібними шарами, а також проведено оцінку мінімального розміру крапель вогнегасних ГУС.

Встановлено, що найбільш широкі можливості використання як вогнегасних засобів надають силікатні системи. Такі системи мають широкі області гелеутворення, а силікатні гелі мають високу адгезію до твердих

поверхонь і високу міцність. На рис. 3 наведено типові приклади областей швидкого гелеутворення двох ГУС, а у табл. 2 наведено мінімальні концентрації компонентів деяких силікатних ГУС. Рівняння реакцій що забезпечують утворення гелю для двох типових каталізаторів гелеутворення наведені нижче (рівняння (1) і (2)):

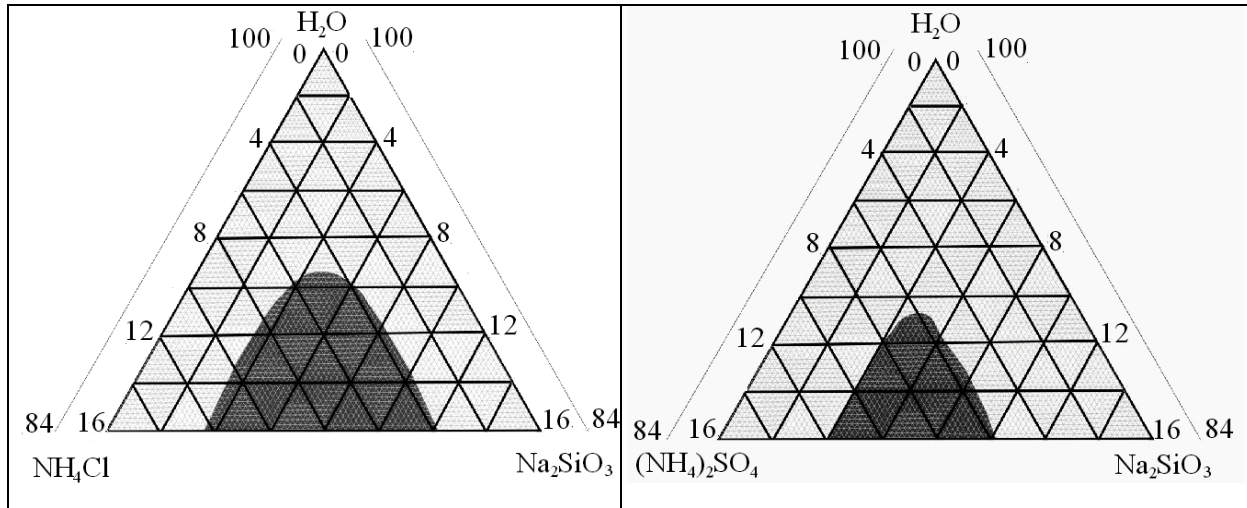
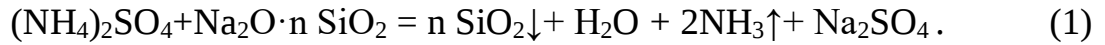


Рис. 3. Области швидкого гелеутворення двох силікатних систем

На рис. 4-6 наведено експериментально встановлені залежності в'язкості, густини та поверхневого натягу для ряду компонентів ГУС.

Таблиця 2

Значення мінімальної концентрації полісиліката натрію (ω_1) та каталізатора гелеутворення (ω_2), що викликають швидке гелеутворення

Каталізатор гелеутворення	Основний продукт реакції	ω_1 , %	ω_2 , %
CaCl_2	$\text{CaO} \cdot n\text{SiO}_2$	3	3
MgCl_2	$\text{MgO} \cdot n\text{SiO}_2$	5	4
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3n\text{SiO}_2$	4	3
NH_4Cl	H_2SiO_3	8	8
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	H_2SiO_3	8	12
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	H_2SiO_3	12	13

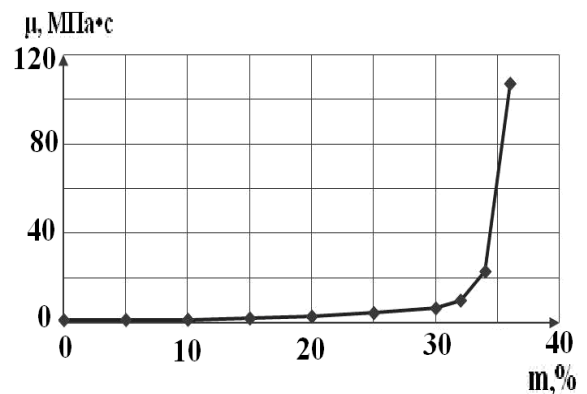


Рис. 4. Залежність коефіцієнта динамічної в'язкості (μ) від масового вмісту полісилікату натрію (m)

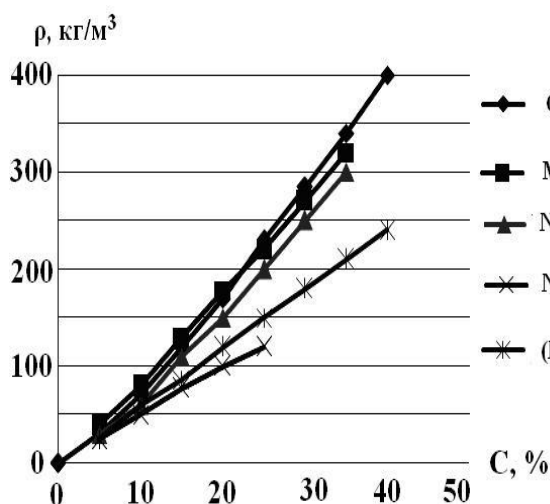


Рис. 5. Залежність густини водних розчинів (ρ) деяких каталізаторів гелеутворення від їх концентрації (20 °C)

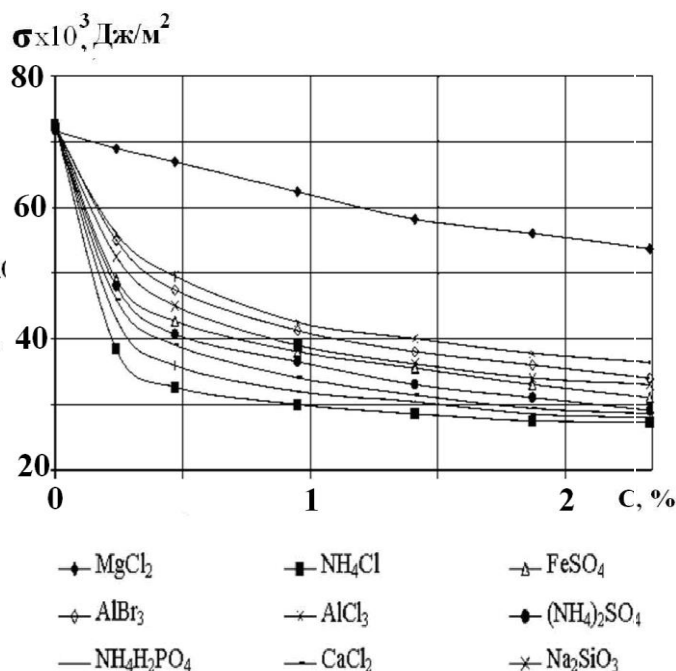


Рис. 6. Залежність поверхневого натягу (σ) від вмісту піноутворювача ПО-6К (C , об. %)

На основі термодинамічного розгляду охолоджуючої дії водних розчинів солей встановлено, що перевагу за цим параметром мають солі з великими екзотермічними процесами розчинення (рис. 7 та рівняння (3)).

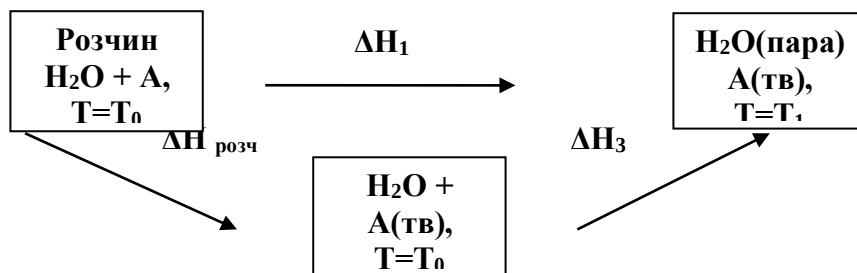


Рис 7. Два шляхи переходу розчину від початкової температури T_0 до температури T_1

$$\Delta H_1 = \Delta H_3 - \Delta H_{\text{розч}} \quad (3)$$

Ще більший внесок в охолоджуючу дію солей надають великі значення їх теплот термодеструкції (табл. 3). Солі з високими теплотами термічного розкладання можуть підвищити охолоджуючу дію води більше ніж на 5%. До таких солей відносять $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ і $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$. Теоретичні розрахунки охолоджуючої дії компонентів ГУС було підтверджено експериментально – методом диференціальної скануючої калориметрії.

На основі розробленого експериментального методу встановлено (рис. 8-9), що найбільшу охолоджуючу дію проявляють розчини солей амонію,

особливо сульфату амонію. За охолоджуючої дією системи на основі сульфату амонію перевищують воду більше ніж у два рази. Також високу охолоджуючу дію мають концентровані розчини хлоридів кальцію і магнію, а також дигідрофосфату амонію. Ці факти пояснюється зниженням втрат ВР за рахунок ефекту плівкового кипіння.

Таблиця 3

Температури розкладання ($T_{\text{розкл}}$), теплоти розкладання (ΔH°_{298}) і розчинність у воді (S) деяких солей амонію

Вещество	NH_4F	NH_4Cl	NH_4Br	NH_4I	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
$T_{\text{разл}}, ^\circ\text{C}$	238	338	394	405	>218
$\Delta H^{\circ}_{298}, \text{кДж/кг}$	3895	3284	1939	1250	3815
$S, \text{г/100 г}$	37,0	37,2	74,2	172,3	76,9

Для оцінки параметрів охолодження тіл гелеподібними шарами проведено математичне моделювання цього процесу. Ця проблема розглядається як задача охолодження масивного тіла, нагрітого до температури t_0 . Для охолодження тіла на нього наноситься плівка вологого гелю. В процесі охолодження масивного тіла реалізуються два послідовні етапи: а) прогрівання вологого гелю до температури t_c з подальшим ізотермічним "википанням" рідкої фази гелю; б) охолодження масивного тіла з відведенням тепла в зовнішнє середовище через теплоізолюючий шар сухого гелю, що утворився.

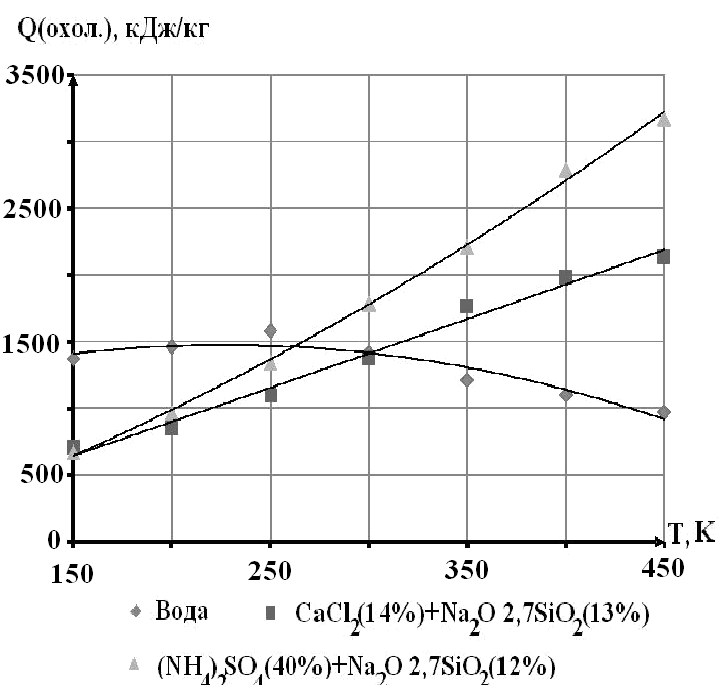


Рис. 8. Лабораторна установка для дослідження охолоджуючої дії ГУС

Рис. 9. Залежність охолоджуючої дії ВР від температури

Незмінність температури упродовж етапу "а" на межі гелю з масивним тілом дозволила описувати охолодження останнього в термінах задачі нестационарної теплопровідності із стаціонарними граничними умовами першого роду. У цих умовах розподіл температур в масивному тілі має вигляд

$$t(x, \tau) = t_0 + \Delta t_c \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a_* \cdot (\tau + \Delta \tau)}}\right), \quad (4)$$

де $\Delta t_c \equiv t_c - t_0$; $a_* \equiv \frac{\lambda_*}{c'_*}$ -- коефіцієнт температуропровідності; λ_* і c'_*

відповідно коефіцієнт теплопровідності та питома об'ємна ізобарна теплоємність; символом $\operatorname{erfc}(Z)$ позначена додаткова функція помилок Гауса; x - відстань, що відміряється углиб масивного тіла від його межі; τ - час процесу ($-\Delta \tau < \tau < 0$), $\Delta \tau$ - тривалість етапу "а".

Вважаючи, що все тепло, яке передається від масивного тіла в гель, йде на нагрівання вологого гелю до температури t_c та випаровування води, можна записати

$$\left| \int_{-\Delta \tau}^0 \lambda_* \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} \Big|_{x=0} d\tau \right| = h_g \left[c'_{p.g} (t_c - t_{g0}) + k_m \cdot \rho_g \cdot \Delta H_g \right], \quad (5)$$

звідки слідує вираз для часу $\Delta \tau$

$$\Delta \tau = \frac{\pi \cdot a_*}{4} \cdot \left\{ \frac{h_g \cdot [c'_{p.g} \cdot (t_c - t_{g0}) + k_m \cdot \rho_g \cdot \Delta H_g]}{\lambda_* \cdot (t_0 - t_c)} \right\}^2, \quad (6)$$

де h_g - товщина шару вологого гелю; t_{g0} - початкова температура гелю; $c'_{p.g}$ - питома об'ємна ізобарна теплоємність вологого гелю; ρ_g - густина вологого гелю; k_m - масова доля вологого гелю, що переходить в пару при повній сушці гелю; ΔH_g - теплота, що йде на отримання 1 кг пари з вологого гелю при температурі t_c .

Охолодження покритого плівкою масивного тіла на етапі "б" розглядалося як завдання нестационарної теплопровідності з граничними умовами 3-го роду на зовнішній межі. Задача вирішувалася за допомогою перетворення Лапласа, проведеного по тимчасовій змінній нестационарного поля $t(x, \tau)$ окремо в областях, - $-h < x < 0$ (плівки) і $x > 0$ (масивного тіла). Вирішивши лінійну систему звичайних диференціальних рівнянь відносно просторової змінної x , отримано вираження для зображення, що цікавить нас, по Лапласу температури на межі масивного тіла з покриттям ($x=0$)

$$t_L(0,s) = \frac{\Delta t_{ef} + \Delta t_c \cdot \left[1 - e^{s \cdot \Delta \tau} \cdot \operatorname{erfc}(\sqrt{s \cdot \Delta \tau})\right] \cdot K \cdot \left(\frac{\varphi}{Bi} \cdot ch\varphi + sh\varphi\right)}{s \cdot \left[\left(1 + K \cdot \frac{\varphi}{Bi}\right) \cdot ch\varphi + \left(K + \frac{\varphi}{Bi}\right) \cdot sh\varphi\right]}, \quad (7)$$

де s - зв'язана з τ змінна в Лаплас-преобразованні; $\varphi = \sqrt{s \cdot \tau_0}$, $\tau_0 \equiv \frac{h^2}{a}$ - характерний час прогрівання покриття, a і h - коефіцієнт температуропровідності і товщина висушеної плівки покриття;

$\Delta t_{ef} \equiv t_f + \frac{q_w}{\alpha} - t_0$ - ефективна температура зовнішнього середовища;

$K \equiv \sqrt{\frac{\lambda_* \cdot c'_*}{\lambda \cdot c'}}$ критерій відносної теплової активності середовища; $Bi \equiv \frac{\alpha \cdot h}{\lambda}$ -

критерій Біо задачі охолодження покриття середовищем; α - коефіцієнт конвективної тепловіддачі; λ - коефіцієнт теплопровідності покриття.

В наслідок того, що величина критерію K досить велика, а $Bi \ll 1,0$, вираз (7) можна записати таким чином

$$t_L(0,s) = \Delta t_{ef} \cdot I_{L.f}(s) + \Delta t_c \cdot I_{L.c}(s), \quad (8)$$

де

$$I_{L.f}(s) \equiv \frac{1}{s \cdot \left(1 + K \cdot \frac{\varphi}{Bi}\right)} \cdot (ch\varphi)^{-1} = \frac{1}{s \cdot \left(1 + \sqrt{s \cdot \tau_*}\right)} \cdot \left(ch\sqrt{s \cdot \tau_0}\right)^{-1}, \quad (9)$$

$$I_{L.c}(s) \equiv \frac{1 - e^{s \cdot \Delta \tau} \cdot \operatorname{erfc}(\sqrt{s \cdot \Delta \tau})}{s \cdot \left(1 + K \cdot \frac{\varphi}{Bi}\right)} \cdot K \cdot \frac{\varphi}{Bi} = \frac{1 - e^{s \cdot \Delta \tau} \cdot \operatorname{erfc}(\sqrt{s \cdot \Delta \tau})}{\sqrt{s} \cdot \left(1 + \sqrt{s \cdot \tau_*}\right)} \cdot \sqrt{\tau_*}, \quad (10)$$

При запису (9),(10) використовується параметр $\tau_* \equiv \left(K \cdot \frac{\sqrt{\tau_0}}{Bi}\right)^2 = \frac{\lambda_* \cdot c'_*}{\alpha^2}$,

що є характерним часом тепловідводу від масивного тіла в охолоджувальне середовище.

Застосування зворотного інтегрального перетворення Лапласа у поєднанні з використанням представлення $(ch\varphi)^{-1}$ у вигляді ряду біноміального розкладання, а також теореми Бореля дозволило отримати

$$t(0, \tau) = t_0 - \left(t_0 - t_f - \frac{q_w}{\alpha} \right) \cdot \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\tau_0}{\tau}} \right) - e^{\sqrt{\frac{\tau_0}{\tau_*} + \frac{\tau}{\tau_*}}} \cdot \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{\tau}{\tau_*}} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\tau_0}{\tau}} \right) \right] +$$

$$- (t_0 - t_c) \cdot \left[e^{\frac{\tau}{\tau_*}} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{\tau}{\tau_*}} \right) + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{\tau}{\tau_*}} \frac{e^y \cdot \operatorname{erfc}(\sqrt{y}) \cdot dy}{\sqrt{\frac{\tau + \Delta\tau}{\tau_*} - y}} - \frac{2}{\pi} \cdot \arcsin \left(\sqrt{\frac{\tau}{\tau + \Delta\tau}} \right) \right]. \quad (11)$$

Графік залежності $t(\tau)$ температури поверхні масивного тіла від часу τ протягом усього процесу охолодження за участю гелю представлено суцільною лінією на рис. 10. При його побудові вибрані типові значення параметрів: товщина плівки 3 мм; температура середовища 20°C; $t_0 = 400^\circ\text{C}$; $t_c = 100^\circ\text{C}$. Час нагріву і сушки гелієвої плівки виявляється рівним $\Delta\tau \approx 400$ с, а характерний час прогрівання плівки сухого гелю $\tau_0 = 9$ с. Етапу "а" відповідає часовий інтервал - $\Delta\tau < \tau < 0$, етап "б" протікає при $\tau > 0$. На цей же графік нанесено залежність температури поверхні масивного тіла у разі охолодження без нанесення гелю. Порівняння ліній демонструє ефективність вологого гелю як засобу охолодження поверхні.

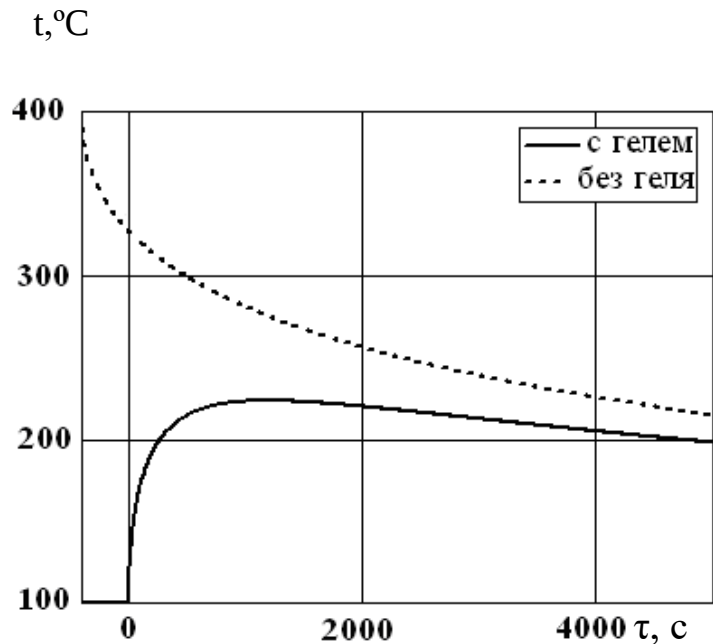


Рис. 10. Залежність температури поверхні масивного тіла (t) від часу при охолодженні (τ)

З урахуванням того, що гель містить (70-96)% води і його втрати незначні в порівнянні з використанням водних вогнегасних речовин (~90 % втрат), на етапі "а" його охолоджувальна здатність в (6,3-8,5) разів перевищить охолоджувальну дію води.

Для встановлення нижньої межі початкового розміру крапель компонентів ГУС, яка надійно забезпечить процес гелеутворення на поверхні ТГМ, було розглянуто задачу про випарування краплі водного розчину солі в гарячому газовому середовищі. Рішення було проведене по аналогії з відомим завданням про випарування крапель чистої води. При рішенні використовувалися тільки рівняння балансу мас і енергії, а рівняння руху газових компонент замінювалися умовою изобарності процесу, що фактично має на увазі квазірівноважний характер процесу випарування.

Основна відмінність процесів випарування сольового розчину і чистої води, окрім збільшення долі солі в процесі випарування в розчині, полягає у впливі вмісту солі в розчині на парціальний тиск насиченої пари води над поверхнею крапель розчину. У роботі вважалося, що розчин солі поводить себе як ідеальний.

У квазістаціонарному режимі випарування потік маси водяної пари J_{π} від краплі в газове середовище описується співвідношенням

$$J_{\pi} = 2\pi \cdot r_k \cdot \bar{D} \cdot \frac{\mu_b \cdot P}{R \cdot \bar{T}} \cdot (Nu_D + 2) \cdot \ln \left(\frac{P - P_{\pi 0}}{P - P_{c,s}(T_k, g_c)} \right), \quad (12)$$

де r_k - радіус краплі; R - універсальна газова стала; μ_b - молярна маса води; P - загальний атмосферний тиск; $\bar{T}$ - середнє значення абсолютної температури газового середовища в дифузійному шарі; $\bar{D}$ - усереднене значення коефіцієнта дифузії пари в газовому середовищі; Nu_D - дифузійний критерій Нуссельта; $P_{\pi 0}$ - парціальний тиск пари води на зовнішній межі шару; $P_{c,s}$ - парціальний тиск пари води на у поверхні краплі; T_k - температура поверхні краплі; g_c - масова частка солі.

У квазістаціонарному режимі випарування потік енергії Q між краплею і зовнішнім середовищем описується співвідношенням

$$Q = J_{\pi} \cdot \left[h_{\pi}(T_k) - \frac{h_{\pi}(T_a) - h_{\pi}(T_k)}{\exp(B) - 1} \right], \quad (13)$$

де $B \equiv \frac{J_{\pi} \cdot c_{p\pi}}{2\pi \cdot r_k \cdot \bar{\lambda} \cdot (Nu_T + 2)}$, $\bar{\lambda}$ - середнє по температурному шару значення коефіцієнта теплопровідності парогазового середовища; h_{π} - питома масова ентальпія утворення водяної пари; T_a - температура повітря, $c_{p\pi}$ - питома масова ізобарна теплоємність пари.

У роботі отримано модель, що описує процеси в краплі сольового розчину, що рухається в гарячому газовому середовищі, які мають вигляд

$$\frac{ds}{d\tau} = -G \cdot \left(1 + \frac{\partial p}{\partial g_c} \cdot \frac{g_c}{\rho} \right), \quad (14)$$

$$s \cdot \frac{dT_k}{d\tau} = \frac{3}{2 \cdot c_p} \cdot G \cdot \left[-\Delta h + \frac{c_{p,\pi} \cdot (T_r - T_k)}{\exp(B) - 1} \right], \quad (15)$$

де $s = s_0 \cdot \left(\frac{g_{c,0} \cdot \rho(g_{c,0})}{g_c \cdot \rho(g_c)} \right)^{2/3}$, s - площа поверхні краплі, g_c - масова частка солі в краплі, s_0 і $g_{c,0}$ - значення s і g_c в деякий фіксований момент часу.

У виразі (15) можна прийняти $T_r = T_{ct} = \text{const}$, де T_{ct} є коренем рівняння

$$\ln\left(\frac{P - P_{п0}}{P - P_{0.s}(T_{ст})}\right) = \frac{\bar{\lambda}}{\bar{D} \cdot c_{рп}} \cdot \frac{R \cdot \bar{T}}{\mu_v \cdot P} \cdot \ln\left(1 + \frac{c_{рп} \cdot (T_{г} - T_{ст})}{\Delta h_{п}(T_{ст})}\right). \quad (16)$$

Рівняння, що описує величину швидкості зменшення площі поверхні краплі, має вигляд

$$G(T_{ст}, s, 0) = 4\pi \cdot (Nu_D + 2) \cdot \frac{\bar{\lambda}}{\rho_v \cdot c_{рп}} \cdot \ln\left(1 + \frac{c_{рп} \cdot (T_{г} - T_{ст})}{\Delta h_{п}(T_{ст})}\right), \quad (17)$$

ρ_v - густина води; $c_{рп}$ - питома масова ізобарна теплоємність пари; $T_{г}$ - температура газової фази; $T_{ст}$ - стаціонарна температура випару краплі; $\Delta h = h_{п}(T_{к}) - h_v(T_{к})$.

Показано, що в широкому діапазоні концентрації солі g_c (до 50%) процеси випарування крапель сольового розчину і чистої води практично не відрізняються. У цій області концентрацій температура крапель розчину (як і чистої води) виходить на постійне, залежне передусім від температури газового середовища, значення ($T_{ст}$). У цьому режимі площа поверхні краплі розчину лінійно убуває з часом. Остання обставина дозволила отримати співвідношення, що оцінюють час досягнення краплею будь-якої (до 50%) концентрації солі в розчині, яка важлива для встановлення характеру процесу гелеутворення. Так час $\Delta\tau$ досягнення критичного значення концентрації солі $g_{c,кр}$ в краплі дорівнює

$$\Delta\tau = \frac{s_0}{G(T_{ст}, s_0, 0)} \cdot \left[1 - \left(\frac{g_{c,0}}{g_{c,кр}}\right)^{2/3}\right], \quad (18)$$

де s_0 - початкова площа поверхні краплі; $g_{c,0}$ - початкове значення масової долі солі.

При чисельному оцінюванні мінімального початкового розміру крапель бралися типові при пожежогасінні значення параметрів процесу: загальний тиск - $P = 1,0 \cdot 10^5$ Па; парціальний тиск водяної пари в газовому середовищі - $P_{п0} = 0$ Па; питома теплоємність водяної пари - $c_{рп} = 2,0 \cdot 10^3$ Дж·кг⁻¹·К⁻¹; питома теплота пароутворення - $\Delta h_{п} = 2,3 \cdot 10^6$ Дж·кг⁻¹; коефіцієнт кінематичної в'язкості газового середовища - $\nu_{г} = 3,5 \cdot 10^{-5}$, м²·с⁻¹; швидкість краплі відносно газового середовища - $w = 10,0$ м·с⁻¹; температури газового середовища - $T_{г} = 1273$ К. Також було прийнято значення початкової і критичної концентрацій солі, що дорівнюють відповідно $g_{c,0} = 0,1$ і $g_{c,кр} = 0,5$, а шлях краплі в області горіння - 10 м.

Мінімальні початкові значення діаметру краплі було отримано в результаті аналізу чисельних рішень системи рівнянь. При швидкості руху крапель 10 м·с⁻¹ мінімальний початковий діаметр склав 1,1 мм, а при швидкості 20 м·с⁻¹ - 0,8 мм.

В третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень вогнегасних і оперативних вогнезахисних властивостей ГУС. За допомогою розробленого експрес методу було обрано ряд ГУС з високою вогнезахисною дією. Для цих систем було досліджено вплив товщини шару гелю на його оперативні вогнезахисні властивості (рис. 11-12).

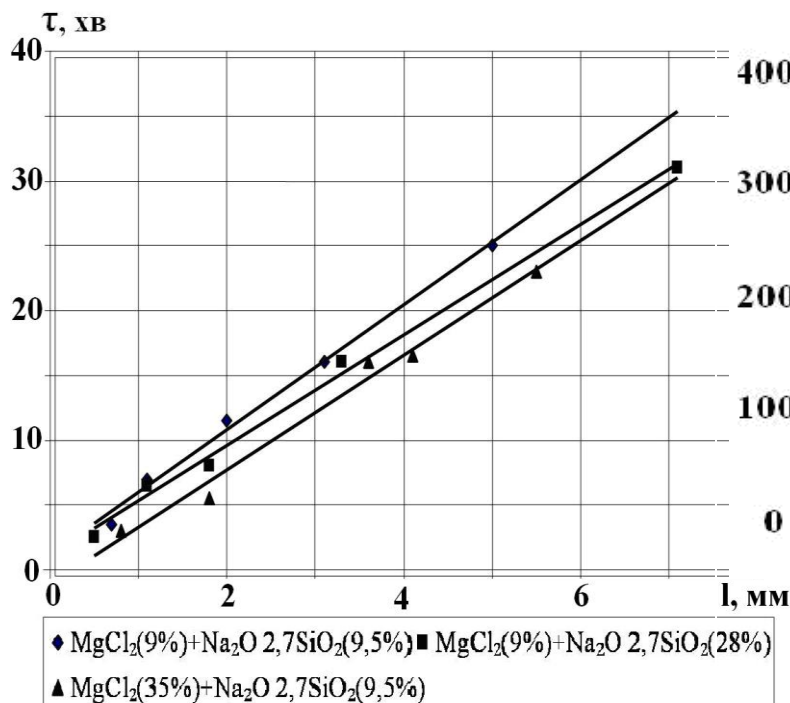


Рис. 11. Залежність часу досягнення сталої маси під дією полум'я від товщини шару гелю

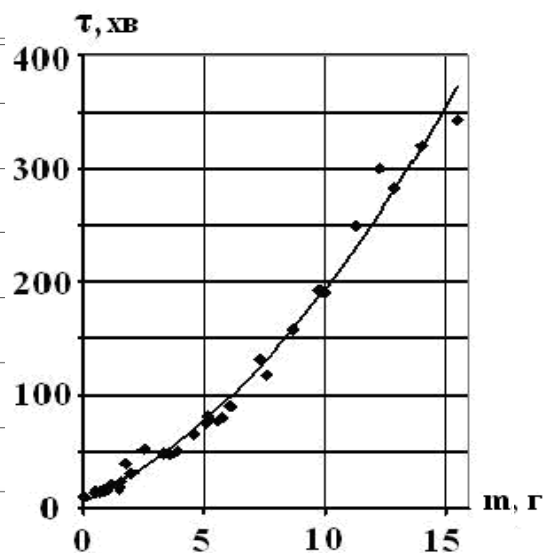


Рис. 12. Залежність часу прогорання зразків брезенту–(t) від маси гелю – (m)

Експериментальні дослідження (за допомогою приладу ОТМ) дозволили встановити, що найкращі оперативні вогнезахисні властивості виявили гелеві шари, що одержано з каталізаторами гелеутворення CaCl_2 , MgCl_2 . Гелеві шари, що було одержано при застосуванні каталізатору гелеутворення $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, поступалися їм за вогнезахисною дією на (20-60)%.

Експериментально встановлені залежності часу займання ($\tau_{\text{займ}}$) від загальної витрати в інтервалі витрат (0,5 – 2,0 кг/м^2) для двох ГУС $\text{CaCl}_2(35\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$ і $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(5\%)+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(22\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(13\%)$ які апроксимується поліномами –

$$\tau_{\text{займ}}=4,94\cdot\Phi^2-1,87\Phi+0,617 \text{ (хв)}, \quad (19) \quad \tau_{\text{займ}}=2,57\Phi^2-0,303\Phi+0,526 \text{ (хв)}. \quad (20)$$

При підвищенні загальної витрати вище 2 кг/м^2 для досліджених ГУС спостерігається нестійке горіння. Для системи $\text{CaCl}_2(35\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$ встановлено, що в разі обробки деревини з загальною витратою більш ніж 3,5 кг/м^2 вона стає не здатною до горіння навіть за наявності зовнішнього джерела полум'я. Для інших ГУС при загальній витраті більш ніж 3,5 кг/м^2 спостерігається нестійке горіння, яке швидко припиняється в разі видалення зовнішнього джерела запалення.

Для силікатних ГУС $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$, $\text{MgCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$, $\text{NH}_4\text{Br} + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$, $(\text{NH}_4\text{Br} + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ и $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ и амофос + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$. було експериментально визначено показник вогнегасної здатності.

Для цього були визначені витрати ГУС на гасіння лабораторного модельного осередку пожежі класу А (штабель з 32 брусків сосни розміром $20 \times 20 \times 150$ мм, які було укладено в 8 шарів по 4 бруски в кожному) (Рис. 13). Умови розпалення і гасіння втримувались згідно з ДСТУ 3675–98.

За результатами експериментів було встановлено, що системи, в яких присутній ефективний інгібітор горіння $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ мають двох-трьох кратну перевагу у порівнянні з усіма іншими ГУС. Тому в подальшому дослідження найбільш ефективної вогнегасної ГУС було зосереджено на цій системі. Перевага ГУС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ по зрівнянню з водою склала (3,5 – 4,4) рази.



Рис.13. Лабораторний модельний осередок пожежі, який погашено ГУС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$

На основі експериментальних досліджень з використанням ротатбельного центрального композиційного плану типу 2^4 , було одержано регресійну залежність показника вогнегасної здатності (F) від концентрацій $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ та поверхнево-активної речовини (ПАР):

$$F = 751,52 + 8,2 \cdot C_N - 76,34 \cdot C_P + 169,14 \cdot C_{\text{ПАР}} + 5,625 \cdot C_{\text{Si}} + 1,635 \cdot C_P^2 - 3,75 \cdot C_{\text{Si}} \cdot C_{\text{ПАР}} - 12,5 C_N \cdot C_{\text{ПАР}} + 9,375 \cdot C_P \cdot C_{\text{ПАР}}, \quad (21)$$

де C_N , C_P , $C_{\text{ПАР}}$ і C_{Si} масові % $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, ПАР та $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$.

На основі одержаної регресійної залежності було обрано оптимальний за показником вогнегасної здатності склад ГУС – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (22%) + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ (12%). Його вогнегасні властивості перевищують відповідну характеристику розпиленої води в 4,4 рази.

Результати дослідів по гасінню модельних осередків пожежі з високою щільністю складання показують, що найкращі вогнегасні властивості досягаються при використанні одного компонента ГУС – розчину $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$.

Дослідження повторного займання деревини під впливом зовнішнього джерела запалення, яку загасили за допомогою ГУС (рис. 14 - 15), показали,

перевагу останніх систем порівняно з водою в десятки разів (Рис. 16). Найбільший час повторного займання забезпечують ГУС $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ і $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ (рис. 17).



Рис. 14. Лабораторна установка для дослідження повторного займання матеріалів, які оброблено ГУС



Рис. 15. Камера для вогневих випробувань установки для дослідження повторного займання

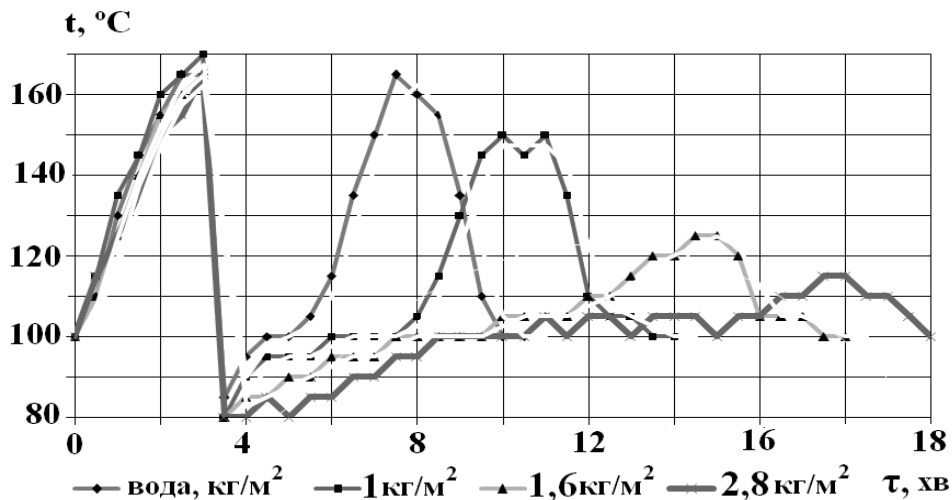


Рис. 16. Зміна температури в досліді з повторного займання під час гасіння зразка деревини водою та ГУС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(17\%) + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(10\%) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(18\%)$ за різних питомих витратах ВР

На основі експериментальних досліджень, встановлено, що деревина, яка була оброблена ГУС з товщиною гелевого шару 1,5 мм, має швидкість горіння у 2 рази меншу, ніж та, що була оброблена водою (рис. 18).

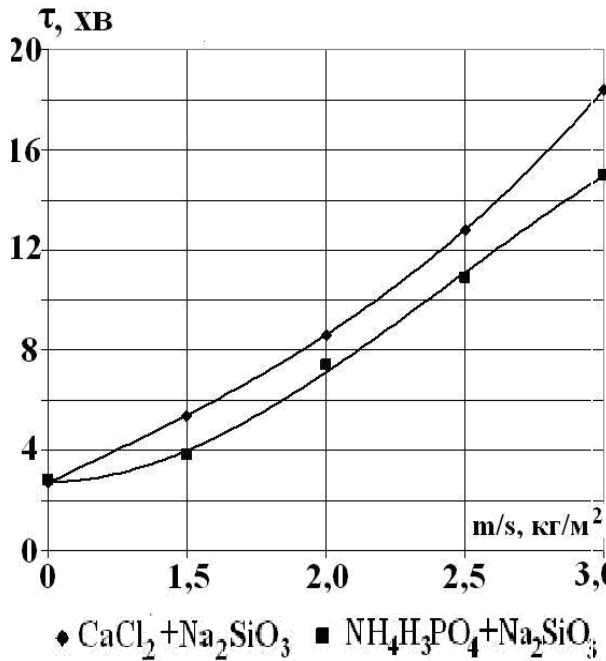


Рис. 17. Залежність часу повторного займання (τ) від питомих витрат (m/s) для ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ и $\text{CaCl}_2(42\%)$ + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$

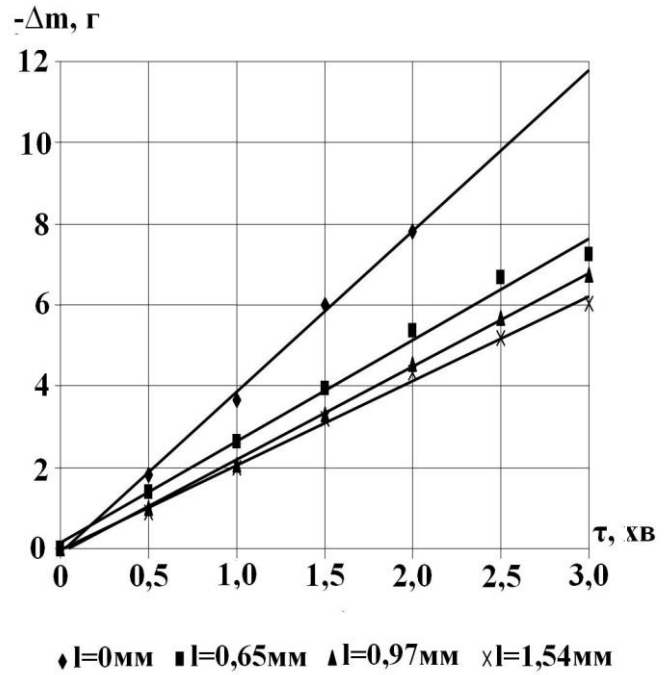


Рис. 18. Залежність зміни маси зразків (Δm) деревини від часу полум'яного горіння (τ)

У четвертому розділі встановлено умови і параметри, які забезпечують недопущення займання та припинення горіння твердих горючих матеріалів в разі використання ГУС.

На основі математичних моделей показано багаторазову перевагу ГУС в порівнянні з водою на етапі локалізуванню пожежі. В загальному виді умовою успішного локалізуванню пожежі є виконання нерівності

$$\tau_{\text{лок}} < \tau_{\text{займ}}, \quad (22)$$

де $\tau_{\text{лок}}$ — час локалізуванню, $\tau_{\text{займ}}$ — час займання.

Для ГУС $\text{CaCl}_2(35\%) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$ и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(5\%) + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(22\%) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%)$ нерівність (22) запишеться відповідно так

$$\tau_{\text{лок}} = \frac{p \cdot h \cdot k \cdot \Phi}{p} < 4,94\Phi^2 - 1,87\Phi + 0,617; \quad (23)$$

$$\tau_{\text{лок}} = \frac{p \cdot h \cdot k \cdot \Phi}{p} < 2,57\Phi^2 - 0,303\Phi + 0,526, \quad (24)$$

де p – периметр пожежі, h – потрібна глибина обробки вогнезахисної смуги, k – коефіцієнт поверхні горіння, Φ – питома витрата вогнегасної речовини, P – витрата вогнегасної речовини.

Аналіз нерівностей (23)-(24) дозволяє встановити, що на етапі локалізуванню пожежі перевагу має ГУС-1 ($\text{CaCl}_2(35\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$), ця перевага стане помітною за питомих витрат більше 1 кг/м^2 . За менших питомих витрат ГУС-1 і ГУС-2 ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(5\%)+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(22\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7 \text{ SiO}_2(12\%)$) рівноцінні (рис. 19).

В разі сталої площі пожежі час на стадію ліквідування в припущенні, що різниця у вогнегасних характеристиках речовин обумовлена тільки коефіцієнтом їх використання, складає

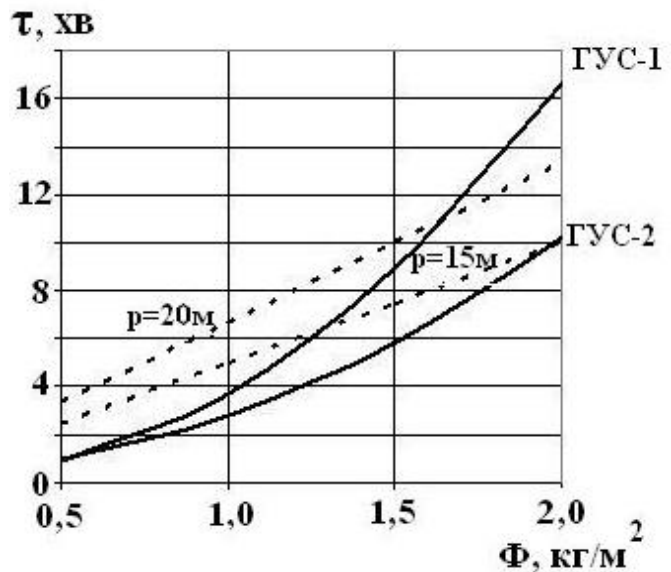


Рис. 19. Залежність часу локалізування пожежі (пунктирні лінії) та часу займання (суцільні лінії) для різних периметрів пожежі від питомих витрат ГУС-1 і ГУС-2

$$\tau_{\text{лікв}} = \frac{S_0}{s} = \frac{\Phi_0 \cdot S_0}{K \cdot P}, \quad (25)$$

у разі зростання площі пожежі з часом за лінійним законом –

$$\tau_{\text{лікв}} = \frac{S_0}{s-a} = \frac{S_0}{P \cdot K / \Phi_0 - a}, \quad (26)$$

у разі зростання площі пожежі з часом за квадратичним законом –

$$\tau_{\text{лікв}} = \frac{PK / \Phi_0 - a - \sqrt{(PK / \Phi_0 - a)^2 - 2bS_0}}{b}, \quad (27)$$

де S_0 – початкова площа поверхонь, що горять; P – витрата вогнегасної речовини; K – коефіцієнт використання вогнегасної речовини; Φ_0 – показник вогнегасної здатності вогнегасної речовини (прийнято в такому випадку сталою); s – швидкість гасіння пожежі; a і b – емпіричні коефіцієнти залежності площі горіння від часу ($S = S_0 + a \cdot \tau + \frac{1}{2}b \cdot \tau^2$).

Аналіз рівнянь (25-27) показує багаторазову перевагу ГУС ($K \approx 1$) у порівнянні із водою ($K < 0,5$), особливо за великих швидкостях розповсюдження пожежі (рис. 20).

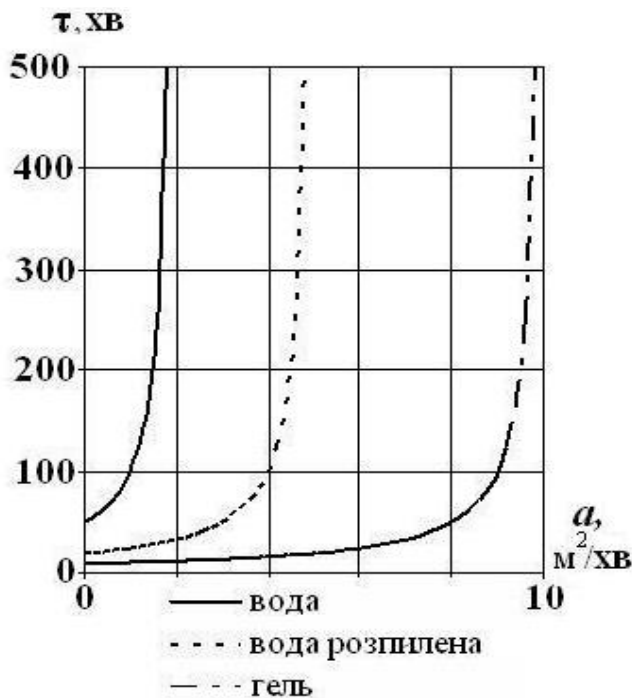


Рис.20. Залежність часу гасіння (τ) від швидкості поширення пожежі (a) компактным струменем, розпиленным струменем та ГУС

Розгляд фази ліквідування пожежі у припущенні, що різниця між вогнегасними характеристиками речовин обумовлена показником вогнегасної здатності, дає такі результати. Час на стадію ліквідування складає:

у разі сталої площі пожежі –

$$\tau_{\text{лікв}} = \frac{S_0}{s} = \frac{\Phi_0 \cdot S_0}{P}, \quad (28)$$

у разі зростання площі пожежі з часом за лінійним законом –

$$\tau_{\text{лікв}} = \frac{S_0}{s-a} = \frac{S_0}{P/\Phi_0 - a}, \quad (29)$$

у разі зростання площі пожежі з часом за квадратичним законом

$$\tau_{\text{лікв}} = \frac{P/\Phi_0 - a - \sqrt{(P/\Phi_0 - a)^2 - 2bS_0}}{b}. \quad (30)$$

На основі одержаних співвідношень і експериментальних даних встановлено, що у випадку сталої площі пожежі час ліквідування горіння за допомогою ГУС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(5\%)+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(22\%)+\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%)$ в 4,4 рази менший ніж водою. ГУС $\text{CaCl}_2(42\%)+\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2(28\%)$ має перевагу над водою за цим параметром в 1,5 рази. Ця перевага, порівняно з водою, для усіх ГУС багаторазово збільшується у випадку зростання площі пожежі з часом (рис. 21-23).

Однією з умов успішного гасіння пожежі є виконання нерівності

$$\tau_{\text{гас}} < \tau_{\text{п.з.}}, \quad (31)$$

де $\tau_{\text{гас}}$ – час гасіння, $\tau_{\text{п.з.}}$ – час повторного займання.

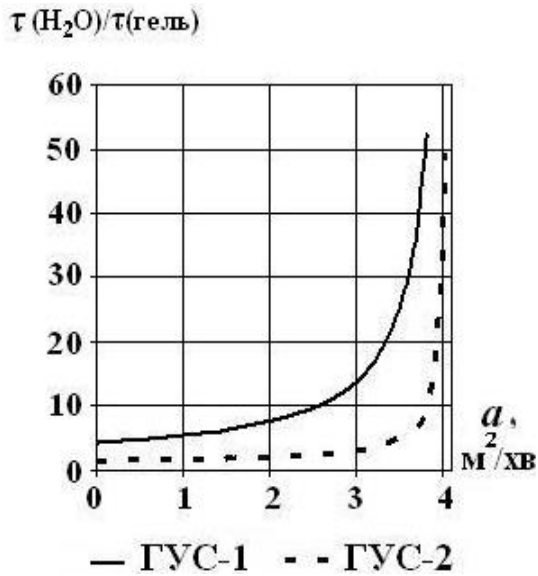


Рис. 21. Залежність відношення часу гасіння пожежі розпиленою водою та ГУС-1 та ГУС-2 від швидкості поширення пожежі (a) (для лінійного закону зростання площі пожежі)

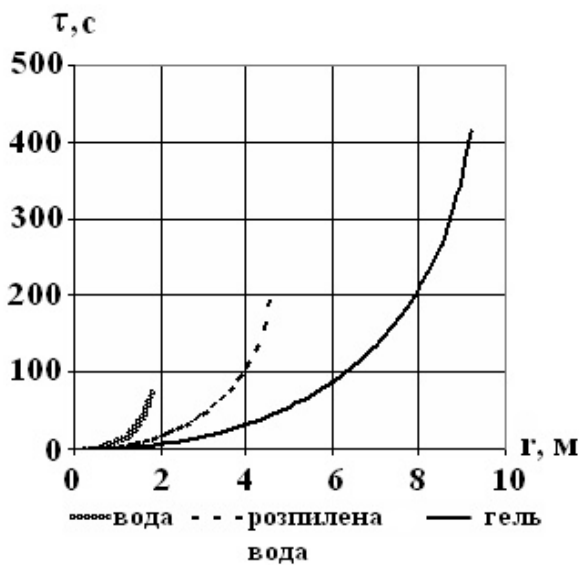


Рис. 23. Залежність часу гасіння пожежі кругової форми (τ) від початкового радіусу (r) пожежі під час гасіння різними ВР ($v=0,017 \text{ м/с}$; $k=5$; $P=5 \text{ кг/с}$; $\Phi_0=0,5 \text{ кг/м}^2$; $K=0,2$ для води; $K=0,5$ для води, що розпилено; $K=1$ для ГУС)

Залежність часу повторного займання від питомих витрат ГУС було встановлено експериментально. Вона добре аналітично описується поліномом другого ступеня

$$\tau_{\text{п.з.}} = f\Phi^2 + d\Phi + c, \quad (32)$$

де f , d і c – коефіцієнти цього поліному.

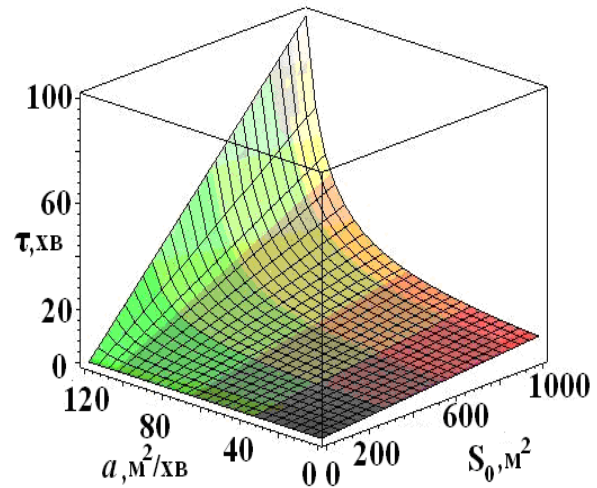


Рис. 22. Залежність часу гасіння (τ) від початкової площі пожежі (S_0) та швидкості її зростання (a) для ГУС ($\text{CaCl}_2(35\%) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$).

Умовами успішного гасіння пожежі буде виконання нерівностей:
у разі сталої площі пожежі –

$$(\Phi \cdot S_0) / P < f\Phi^2 + d\Phi + c, \quad (33)$$

у разі зростання площі пожежі з часом за лінійним законом –

$$\frac{S_0}{P/\Phi - a} < f \cdot \Phi^2 + d \cdot \Phi + f \cdot \Phi^2, \quad (34)$$

у разі зростання площі пожежі з часом за квадратичним законом –

$$\frac{P/\Phi - a - \sqrt{(P/\Phi - a)^2 - 2bS_0}}{b} < f \cdot \Phi^2 + d \cdot \Phi + c. \quad (35)$$

Аналіз нерівностей (33)-(35) дозволяє зробити висновок, що при гасінні великих вільних поверхонь горіння за відсутності важкодоступних для попадання вогнегасних речовин поверхонь перевагу має ГУС $\text{CaCl}_2(42\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7 \text{SiO}_2(28\%)$ (рис. 24-25).

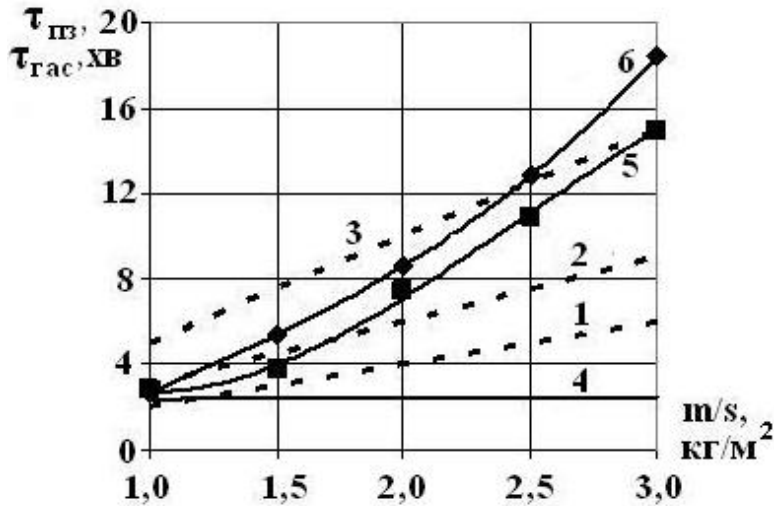


Рис. 24. Залежність часу гасіння ($\tau_{\text{гас}}$) (пряма (1) $S_0=600 \text{ м}^2$, пряма (2) $S_0=900 \text{ м}^2$, пряма (3) $S_0=1500 \text{ м}^2$) і часу повторного займання ($\tau_{\text{п.з}}$) для води (4), ГУС $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2$ (5), ГУС $\text{CaCl}_2(42\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7 \text{SiO}_2(28\%)$ (6), від питомої витрати ВР (м/с) за сталої площі пожежі

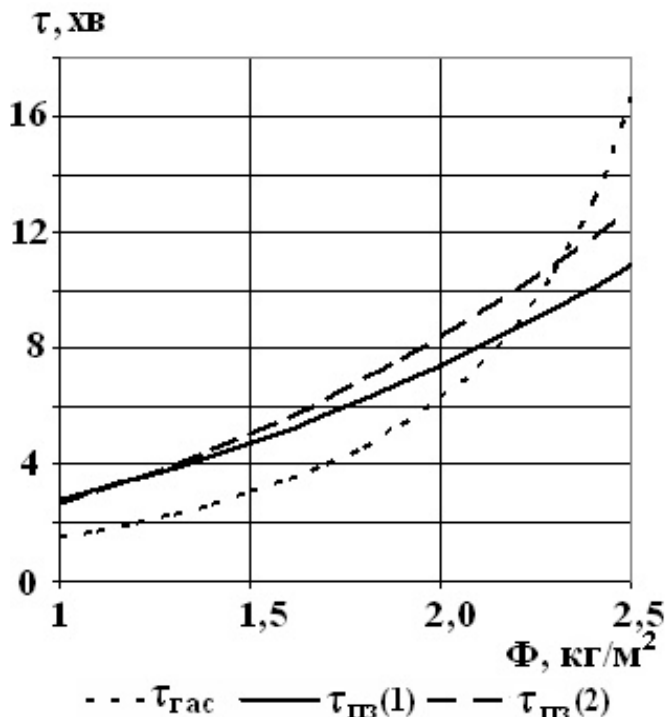


Рис. 25. Залежність часу гасіння ($t_{\text{гас}}$) і часу повторного займання для зразків деревини, що потушено ГУС-1 та ГУС-2 від питомих витрат ВР (Φ) (прямокутна форма пожежі)

Для осередків пожежі з наявністю великої кількості важкодоступних і схованих поверхонь горіння було встановлено, що перевагу за часом повторного займання має ГУС $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2$.

В випадку використання етапів локалізувння і ліквідування пожежі умовою успішного гасіння пожежі є виконання нерівності

$$\tau_{\text{займ}} \geq \tau_{\text{лок}} + \tau_{\text{лікв}}. \quad (36)$$

В припущенні, що після закінчення етапу локалізувння площа пожежі не змінюється, одержимо нерівність –

$$\frac{S_{\text{лок}} \cdot k \cdot \Phi}{P} + \frac{f\Phi^2 + d\Phi + c}{P} + \frac{\Phi_{\text{лікв}} \cdot S_{\text{пож}} \cdot k}{P}. \quad (37)$$

На основі встановлених питомих витрат можна розрахувати загальний час на гасіння пожежі

$$\begin{aligned} \tau_{\text{гас}} &= \tau_{\text{лок}} + \tau_{\text{лікв}} = \\ &= \frac{S_{\text{лок}} \cdot k \cdot \Phi}{P} + \\ &+ \frac{\Phi_{\text{лікв}} \cdot S_{\text{пож}} \cdot k}{P}. \end{aligned} \quad (38)$$

Аналіз результатів часу гасіння пожеж з різними параметрами дозволяє зробити висновок, що в більшості випадків перевагу при гасінні пожеж має ГУС $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{ SiO}_2$. ГУС $\text{CaCl}_2(42\%) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{ SiO}_2(28\%)$ має перевагу в разі потреби вогнезахисту великих легкодоступних поверхонь горючих матеріалів на етапі локалізувння пожежі.

У п'ятому розділі наведені рекомендації щодо використання ГУС для гасіння пожеж. Розглянуто токсикологічні, екологічні і експлуатаційні властивості складових ГУС і гелеподібних шарів. Всі компоненти ГУС відносяться до малонебезпечних і помірнонебезпечних речовин (III і IV клас небезпеки). Для захисту органів дихання, шкіряних покривів та очей необхідно використовувати простий захисний одяг, респіратори, захисні окуляри або маски.

Розглянуто процедури приготування розчинів – компонентів ГУС і вимоги для їх зберігання. Встановлено, що помітну корозійну активність мають тільки розчини хлориду кальцію. Для цих розчинів розроблено процедури обробки обладнання після їх застосування. Встановлено також процедури обробки обладнання, яке знаходилося в контакті з розчинами силікатів і фосфатів.

Для проведення натурних експериментів по гасінню пожеж невеликої площі було розроблено і виготовлено автономні установки гасіння за допомогою ГУС – «АУТГУС» (гідравлічне розпилювання) (рис. 26) і «АУТГУС-П» (пневматичне розпилювання) (рис. 27). Маса компонентів ГУС в установках складає 12 кг (по 6 кг гелеутворювача і каталізатора гелеутворення). Маса установок, що повністю заправлено, складає 20 и 28 кг відповідно. Дальність подавання ВР для установки «АУТГУС» складає 5 м, а для «АУТГУС-П» – 7 м.



Рис. 26. Зовнішній вигляд «АУТГУС»

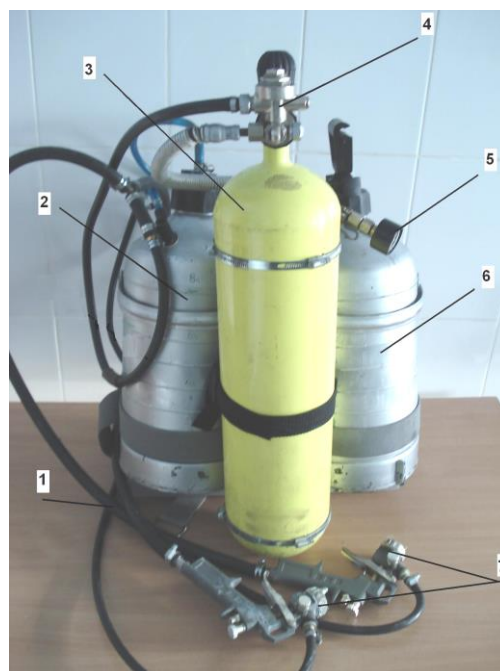


Рис. 27. Зовнішній вигляд «АУТГУС-П»

За допомогою установок «АУГГУС» і «АУГГУС-П» було проведено гасіння стандартних модельних осередків пожежі 1А (рис. 28). Результати гасіння представлено в табл. 4.



Рис. 28. Гасіння стандартного модельного осередку пожежі 1А

Розгляд економічного ефекту від використання ГУС дозволяє зробити висновок, що вартість компонентів ГУС більше ніж в 5 разів менша за вартість універсальних вогнегасних порошків. Порівняння ГУС з водою дозволяє констатувати, що витрати ГУС на гасінні пожеж значно менші ніж в разі використання води. Непрямі збитки від використання ГУС на порядок менші ніж у випадку використання води.

Завдяки зі багатократною перевагою в оперативних вогнезахисних властивостях ГУС багаторазово знижують прямі збитки від пожеж.

Таблиця 4

Загальні витрати ВР на гасіння стандартного модельного осередку пожежі 1А (m), показник вогнегасної здатності (Φ_0) для стандартного модельного осередку пожежі 1А і для лабораторного модельного осередку пожежі ($\Phi_0(л)$)

Вогнегасна речовина	m, кг	Φ_0 , кг/м ²	$\Phi_0(л)$, кг/м ²
H ₂ O	7,8	1,30	1,23
NH ₄ H ₂ PO ₄ (25 %) + Na ₂ O·2,7 SiO ₂ (12 %)	2,7	0,45	0,28
NH ₄ H ₂ PO ₄ (25 %)	2,1	0,35	0,26

На основі одержаних експериментальних даних і результатів моделювання гасіння пожеж розроблено рекомендації по їх гасінню. Для стадії локалізуванню пожежі відповідні рекомендації представлено в табл. 5. При використанні даних табл. 5 треба взяти до уваги те, що обробку ГУС необхідно проводити рівномірно по всій площі.

Для стадії ліквідування пожежі відповідні рекомендації представлено в табл. 6.

Під час гасіння великих пожеж подача компонентів ГУС може здійснюватися за допомогою штатної пожежної техніки, яка забезпечує

розпилювання рідин з дисперсністю не нижче 1 мм (стволу РСП-50, РСК-50, РСП-70, РСКЗ-70, СРП-50А, СРП-50Е, СР-50). При цьому вибір кута факелу розпилювання та відстань до поверхонь, що обробляються, підбирається так, щоб локальна інтенсивність подавання ВР не перевищувала $0,3 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$. Час обробки поверхонь підбирається так, щоб товщина шару гелю не перевищувала 5 мм.

Таблиця 5

Необхідні глибини вогнезахисної зони (h) і час на локалізування пожежі (τ) для різних периметрів пожежі (p) для витрати ВР 5 кг/с і коефіцієнті поверхні горіння 5

p, м	h, м	τ , хв	
		ГУС $\text{CaCl}_2(42\%)+\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{ SiO}_2(28\%)$	ГУС $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{ SiO}_2$
≤ 13	8,3	2	2
13-15	10	3	5
15-20	15	9	15
≥ 20	20	12 на 10 м периметра	14 на 10 м периметра

Таблиця 6

Необхідні питомі витрати ГУС $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{ SiO}_2$ (Φ) та час на стадію ліквідування пожежі ($\tau_{\text{лікв}}$) з площею ($S_{\text{пож}}$) за витратою ВР 5 кг/с і коефіцієнті поверхні горіння 5

$S_{\text{пож}}, \text{м}^2$	$\Phi, \text{кг}/\text{м}^2$	$\tau_{\text{лікв}}, \text{хв}$	Примітки
≤ 300 Відсутність схованих поверхонь горіння	0,5	2,5	—
≤ 300 Наявність схованих поверхонь горіння	1,0	5	5 хв обробка доступних поверхонь горіння, з наступним переходом до схованих поверхонь
≥ 300 Наявність схованих поверхонь горіння	3,0	5 хв на кожні 100 м^2 площі пожежі	Через кожні 5 хв обробка ділянок з пошкодженим вогнезахисним шаром

Аналіз результатів гасіння пожеж за допомогою ГУС дозволив зробити висновок, що гасіння пожеж сталої площі і пожеж, лінійна швидкість поширення яких не перевищує 1 м/хв у випадку, якщо їх площа не перевищує 50 м^2 , доцільно проводити з використанням тільки стадії ліквідування. Для цього потрібно протягом двох хвилин рівномірно обробити доступні поверхні горіння з витратою ГС $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{ SiO}_2$ 5 кг/с. Після необхідно перейти до гасіння схованих поверхонь.

ВИСНОВКИ

В роботі одержано нові науково обґрунтовані результати, які у сукупності забезпечують розв'язання науково-практичної проблеми підвищення ефективності гасіння пожеж класу А за рахунок використання гелеутворюючих систем.

1. Обґрунтовано, що для підвищення ефективності гасіння пожеж класу А необхідно розробити вогнегасний засіб, який забезпечує швидку втрату текучості при попаданні на поверхні, що горять і захищаються, що дозволить істотно зменшити втрати вогнегасної речовини за рахунок стікання з вертикальних і похилих поверхонь.

2. Показано, що забезпечити практично повну відсутність втрат вогнегасної речовини за рахунок стікання дозволяє застосування вогнегасних гелеутворюючих засобів.

3. Вперше, на підставі аналізу основних механізмів припинення горіння стосовно ГУС, розроблено принципи вибору складу гелеутворюючих вогнегасних композицій, що забезпечують високі вогнегасні і оперативні вогнезахисні властивості, які полягають в наступному: компоненти ГУС повинні забезпечувати швидке гелеутворення, а також містити хоча б один компонент з високою здатністю інгібувати процес горіння, в результаті взаємодії компонентів системи має утворюватися шар гелю з високими ізолюючими властивостями, компоненти ГУС повинні проявляти високу охолоджувальну дію.

4. Подальший розвиток отримав термодинамічний метод визначення охолоджувальної дії вогнегасних речовин, на підставі якої встановлено, що охолоджувальна дія розчину відрізняється від сумарної охолоджувальної дії його окремих компонентів на величину інтегральної теплоти розчинення цих речовин у воді, а найбільшу охолоджувальну дію проявляють компоненти ГУС, що містять солі амонію (сульфат амонію і дигідрофосфат амонію).

5. Вперше проведено математичне моделювання процесу випарування краплі водного розчину солі в гарячому газовому середовищі, на підставі чого встановлено, що при гасінні великих пожеж з допомогою ГУС розмір крапель ВР має знаходитися в межах (0,8 - 1,1) мм.

6. Подальший розвиток отримав експериментальний метод визначення охолоджувальної дії рідинних вогнегасних складів, що полягає в застосуванні калориметричної методики оцінки кількості тепла, що відбирається від твердої поверхні, в умовах, що наближено до реальних, за допомогою якого встановлено, що по охолоджувальній дії ГУС більш ніж в два рази перевищують воду.

7. Вперше розроблено метод експериментального визначення часу повторного займання ТГМ, який полягає у встановленні часу до займання загашеного зразка горючого матеріалу під дією зовнішньої вогневої дії після їх обробки рідким вогнегасним складом, за допомогою якого встановлено, що час повторного займання деревини, що загашено ГУС, на порядок перевищує час повторного займання зразків, що загашено такою ж кількістю води.

8. Показано, що найкращі вогнегасні властивості проявляє ГУС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(5\%)+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(22\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%)$ (перевершує воду більш ніж в чотири рази), а найкращі оперативні вогнезахисні властивості - ГУС $\text{CaCl}_2(42\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$ (перевершує воду в десятки разів).

9. Вперше встановлено умови і параметри, що забезпечують недопущення займання і припинення горіння твердих горючих матеріалів при використанні вогнегасних ГУС.

10. Встановлено, що на етапі локалізування пожежі найефективніше використання ГУС $\text{CaCl}_2(42\%) + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$, яка забезпечує перевагу в порівнянні з використанням води від двох до декількох десятків разів.

11. Показано, що на етапі ліквідування пожежі найбільш ефективно використання ГУС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(5\%)+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(22\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%)$, яка забезпечує перевагу в порівнянні з водою від 4,4 разів до десятків разів.

12. Розроблено та виготовлено дослідні зразки автономних установок для гасіння пожеж за допомогою гелеутворюючих складів з гідравлічним ("АУТГОС") і пневматичним розпилюванням компонентів ("АУТГОС-П"), особливістю яких є можливість одночасно-роздільного подавання 12 кг вогнегасних речовин у вогнище пожежі на відстань 5 м ("АУТГОС") та 7 м ("АУТГОС-П").

13. Встановлено, що непрямий збиток при гасінні водою, ГУС $\text{CaCl}_2(42\%) + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$, і ГУС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(5\%)+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(22\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%)$, складають 108; 11,48 і 3,44 грн/м² відповідно.

14. На підставі результатів експериментальних і теоретичних досліджень, практичного застосування на реальних пожежах розроблено рекомендації що до використання оперативно-рятувальними підрозділами ДСНС гелеутворюючих засобів при гасінні пожеж.

15. Реалізацію висновків і результатів роботи здійснено шляхом використання ГУС для гасіння пожеж підрозділами оперативно-рятувальних служб в Харківській і Черкаській областях, що забезпечило зменшення часу пожежогасіння і витрати вогнегасних речовин на (10-15) %, а також зменшення непрямих збитків від заливання нижніх поверхів на (20-25) %. У разі використання ГУС для оперативного вогнезахисту в зоні теплової дії пожежі зафіксовано зменшення витрат вогнегасної речовини в (1,5 - 2) рази.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Киреев А.А. Исследование концентрационных областей быстрого гелеобразования в огнетушащих системах на основе силиката натрия / А.А. Киреев, В.Н. Романов, Г.В. Тарасова // Проблемы пожарной безопасности. – 2004. – Вып. 15. – С. 107–110.

2. Киреев А.А. Определение областей быстрого гелеобразования в огнетушащих системах: $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2 - \text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ и $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2 - \text{FeSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ / А.А. Киреев, В.Н. Романов, А.В. Александров // Проблемы пожарной безопасности. – 2004. – Специальный выпуск. – С. 34–37.

3. Кіреєв О.О. Дослідження адгезійної міцності та товщини шару гелеутворюючих вогнегасних складів / О.О. Кіреєв, О.В. Бабенко // Проблемы пожарной безопасности. – 2004. – Вып. 16. – С. 87–90.

4. Абрамов Ю.О. Дослідження впливу товщини шару гелю на його вогнезахисті властивості / Ю.О. Абрамов, О.О. Кіреєв, О.М. Щербіна // Пожежна безпека. – 2006. – №8. – С. 159–162.

5. Абрамов Ю.А. Термогравиметрические исследования огнезащитного действия на древесину гелей системы $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2 - \text{MgCl}_2$ / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев, О.Н. Щербина // Пожежна безпека. – 2006. – №9. – С. 42–47.

6. Кіреєв О.О. Вогнезахисті властивості гелеутворюючих сполук при використанні їх для захисту озброєння та військової техніки від запалювальних речовин / О.О. Кіреєв, Г.Б. Гишко // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – Вип. 4(8). – С. 30–33.

7. Абрамов Ю.А. Исследование областей быстрого гелеобразования огнетушащих и огнезащитных систем на основе гидроксидов и карбонатов / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв // Науковий вісник будівництва. – 2006. – Вип. 36. – С. 190–194.

8. Кіреєв О.О. Вогнезахисті властивості силікатних гелеутворюючих систем / О.О. Кіреєв // Науковий вісник будівництва. – 2006. – Вип. 37. – С. 188–192.

9. Киреев А.А. Оценка охлаждающего действия растворов солей, используемых на этапах предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций / А.А. Киреев // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2006. – Вип. 3. – С. 161–169.

10. Александров А.В. Исследование влияния поверхностно-активных веществ на огнезащитные свойства гелеобразующих систем / А.В. Александров, Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев // Проблемы пожарной безопасности. – 2006. – Вып. 19. – С. 14–18.

11. Киреев А.А. Термогравиметрические исследования огнетушащих и огнезащитных гелей / А.А. Киреев // Проблемы пожарной безопасности. – 2006. – Вып. 20. – С. 81–85.

12. Киреев А.А. Исследование массовой скорости выгорания древесины, огнезащищённой гелеобразующей системой $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{MgCl}_2$ / А.А. Киреев, Г.В. Тарасова, К.В. Жерноклёв // Вестник национального технического университета «ХПИ», «Химия, химическая технология и экология». – 2006. – № 43. – С. 65–70.

13. Киреев А.А. Экспериментальное определение охлаждающего действия гелей, используемых при ликвидации чрезвычайных ситуаций / А.А. Киреев, Н.А. Касян // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2007. – Вип. 5. – С. 93–98.

14. Абрамов Ю.А. Феноменологический подход к оценке времени тушения пожара при использовании огнетушащих гелеобразующих составов / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев, А.Я. Шаршанов // Проблемы пожарной безопасности. – 2007. – Вып. 21. – С. 3–9.

15. Абрамов Ю.А. Влияние гелеобразных слоёв на время повторного воспламенения древесины / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев, О.Н. Щербина // Пожежна безпека. – 2007. – №10. – С. 88–91.

16. Абрамов Ю.А. Локализация чрезвычайных ситуаций с помощью гелеобразующих составов (на примере крупных пожаров) / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев, А.Я. Шаршанов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2007. – Вип. 6. – С. 3–11.

17. Киреев А.А. Экспериментальное определение охлаждающего действия гелеобразующих огнетушащих составов / А.А. Киреев // Проблемы пожарной безопасности. – 2007. – Вып. 22. – С. 87–93.

18. Киреев А.А. Выбор компонентов жидкофазных огнетушащих систем с повышенным охлаждающим действием / А.А. Киреев, Г.В. Тарасова, К.В. Жерноклёв // Вестник национального технического университета «ХПИ», «Химия, химическая технология и экология». – 2007. – № 31. – С. 7–14.

19. Абрамов Ю.О. Дослідження вогнегасної дії гелеутворюючих систем на основі силікатів / Ю.О. Абрамов, О.О. Кіреєв, О.М. Щербина, А.О. Бедзай // Пожежна безпека. – 2007. – № 11. – С. 100–104.

20. Абрамов Ю.А. Экспериментальное исследование охлаждающего действия гелеобразующих составов, содержащих сульфат аммония / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев, С.Н. Бондаренко // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – Вып. 23. – С. 3–8.

21. Киреев А.А. Применение гелеобразующих составов при тушении пожаров на химически-опасных объектах / А.А. Киреев // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2008. – Вип. 7. – С. 71–77.

22. Киреев А.А. Исследование огнетушащего действия гелеобразующих огнетушащих составов / А.А. Киреев, С.Н. Бондаренко // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – Вып. 24. – С. 44–49.

23. Киреев А.А. Исследование повторного воспламенения древесины, обработанной гелеобразующими составами / А.А. Киреев, С.Н. Бондаренко // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – Вып. 25. – С. 65–72.

24. Киреев А.А. Оценка времени тушения крупных пожаров при использовании гелеобразующих составов / А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв, А.Н. Коленов // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – Вып. 26. – С. 36–43.

25. Киреев А.А. Исследование огнетушащего действия гелеобразующих составов на модельных очагах пожаров класса А с высокой плотностью укладки / А.А. Киреев // Проблемы пожарной безопасности. – 2010. – Вып. 27. – С. 77–82.

26. Киреев А.А. Определение показателя огнетушащей способности гелеобразующих составов при тушении модельного очага класса 1А / А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв, А.В. Савченко // Проблемы пожарной безопасности. – 2010. – Вып. 28. – С. 74–80.

27. Киреев А.А. Оценка времени тушения пожаров класса А гелеобразующими составами. Учёт времени повторного воспламенения / А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв, Л.Н. Куценко // Проблемы пожарной безопасности. – 2011. – Вып. 29. – С. 60–65.

28. Киреев А.А. Исследование огнетушащего действия гелеобразующих составов на модельных очагах пожаров класса А из ДВП и ДСП / А.А. Киреев // Проблемы пожарной безопасности. – 2011. – Вып. 30. – С. 83–88.

29. Киреев А.А. Исследование огнетушащего деуствия отдельных компонентов гелеобразующих систем при тушении пожаров класса А / А.А. Киреев, А.Б. Каракулин, А.С. Шажко // Проблемы пожарной безопасности. – 2013. – Вып. 33. – С. 64–68.

30. Шаршанов А.Я. Оценка оптимального размера капель огнетушащих гелеобразующих систем // А.Я. Шаршанов, Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2013, № 2(18), с. 42–49.

31. Шаршанов А.Я. Моделирование поведения капель компонентов гелеобразующих систем в высокотемпературной области // А.Я. Шаршанов, Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – т.22. – №11. – С.57-63.

32. Шаршанов А.Я. Моделирование охлаждения термически толстого тела огнетушащими гелеобразующими составами // Чрезвычайные ситуации Образование и наука. – 2013. – т.8. – №2. – С.65-71.

33. Шаршанов А.Я. Охлаждение массивного тела теплозащитным гелеобразующим составом / А.Я. Шаршанов, Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2013. – №4 (32). – 134-142.

34. Деклараційний пат. 60882А Україна, МПК⁷ А 62 С 1 / 00. Спосіб гасіння пожежі та склад для його здійснення / Борисов П.Ф., Росоха В.О., Абрамов Ю.О., Кіреєв О.О., Бабенко О.В.; заявник та патентовласник Академія пожежної безпеки України. - №20030326004; заявл. 25.03.2003; опубл. 15.10.2003, Бюл. №10.

35. Пат. 2264242 Російська Федерація, МПК⁷ А 62 С 5/ 033. Спосіб тушення пожежа і склад для його здійснення / Борисов П.Ф., Росоха В.Е., Абрамов Ю.А., Кіреєв А.А., Бабенко А.В.; заявитель і патентобладатель Академія пожежної безпеки України. – №2003237256/12; заявл. 23.12.2003; опубл. 20.11.10.2005, Бюл. №32.

36. Кіреєв А.А. Перспективи використання багатокомпонентних гелеобразующих составов при разработке средств оперативной защиты / А.А. Кіреєв, В.Н. Романов // «Наглядно-профілактична діяльність в МНС України»: тези доповідей науково-технічної конференції, (Харків, 26 березня 2004 р) / МНС України, АЦЗУ. – Х.: АЦЗУ, 2004. – С.39–40.

37. Кіреєв О.О. Аналіз стану із розробки сучасних засобів гасіння пожеж ТГМ / О.О. Кіреєв, О.В. Бабенко, К.С. Шестаков // «Пожежна та техногенна безпека»: Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції, (Черкаси, 1–2 грудня 2005 р) / МНС України, ЧПБ. – Черкаси: ЧПБ, 2005. – С. 269–271.

38. Кіреєв О.О. Шляхи зменшення збитків від пожеж у житловому секторі / О.О. Кіреєв, О.В. Савченко // «Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту»: Матеріали науково-практичної міжвузівської конференції (Черкаси, 28 квітня 2005 р) / МНС України, ЧПБ. – Черкаси: ЧПБ, 2005. – С. 20.

39. Кіреєв О.О. Гелеутворюючі системи як засіб підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій під час ліквідації пожежі / О.О. Кіреєв, К.В. Жернокльов, О.В. Савченко // «Шляхи автоматизації, інформатизації діяльності МНС України»: Тези доповідей II міжнародної науково-технічної конференції, (Харків, 2005 р) / МНС України, АЦЗУ. – Х.: АЦЗУ, 2005. – С. 51–54.

40. Кіреєв О.О. Підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій під час ліквідації пожеж шляхом використання гелеутворюючих сумішей / О.О. Кіреєв, О.В. Савченко // «Проблеми зниження ризику виникнення надзвичайних ситуацій в Україні»: Матеріали V всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників (Київ, 11–12 жовтня 2006 р) / МНС України, УкрНДПБ. – К: УкрНДПБ, 2006. – С. 123–126.

41. Абрамов Ю.А. Влияние поверхностно-активных веществ на огнезащитные свойства гелеобразующих систем / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев // «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации»: Материалы докладов международной научно-практической конференции, (Гомель, 27–28 сентября 2006 г) / МЧС

республіки Беларусь, Гомельський інженерний інститут.– Гомель: ГИИ, 2006.– С. 222–224.

42. Киреев А.А. Тушение пожаров в жилом секторе: направления и перспективы / А.А. Киреев, А.В. Савченко, К.В. Жерноклёв // «Пожарная и аварийная безопасность объектов»: Материалы второй международной научно–практической конференции, (Иваново, 21–23 декабря 2006 г) / МЧС РФ, Ивановский институт государственной противопожарной службы.– Иваново: ИВИГПС, 2006.– С. 127–129.

43. Абрамов Ю.А. Особенности тушения объектов жилого сектора гелеобразующими составами / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев, Шаршанов А.Я., Савченко А.В. // «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация»: Сборник тезисов докладов IV Международной научно–практической конференции, (Минск, 2007 г) МЧС республики Беларусь.– Минск, 2007.–т.1. –С. 28–29.

44. Савченко О.В. Модель гасіння пожежі постійної площі з урахуванням часу повторного займання, кількісного і якісного складу горючого завантаження / О.В. Савченко, О.О. Кіреєв, А.Я. Шаршанов // «Пожежна безпека –2007»: Матеріали міжнародної науково–практичної конференції (Черкаси, 15–16 листопада 2007 р) / МНС України, АПБ ім. Героїв Чорнобиля.– Черкаси, 2007.–С. 511–512.

45. Киреев А.А. Использование гелеобразующих составов для тушения полимерных материалов / А.А. Киреев, А.В. Савченко, К.В. Жерноклёв // «Исторические и современные аспекты решения проблемы горения и тушения»: Материалы двадцатой международной научно–практической конференции, (Москва. – 2007 г) / МЧС РФ, ВНИИПО.– Москва: ВНИИПО, 2007.– С. 137–139.

46. Chernuha A.A. Research of physical and chemical properties of gel-forming fire extinguishing and fire-resistant compositions / A.A. Chernuha, A.A. Kireev, G.V. Tarasova // «Modern physical chemistry for advanced materials» International conference (Kharkiv , 26–30 Juni 2007) Kharkiv national university, 2007.– p.183–184.

47. Абрамов Ю.А. Исследование огнетушащего действия гелеобразующих средств / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев // «Актуальные проблемы пожарной безопасности»: Материалы международной научно–практической конференции, (Москва, 2008 г) МЧС РФ.– Москва, 2008.–Ч.2. –С. 185–188.

48. Савченко О.В. Оцінка адекватності моделі гасіння пожежі постійної площі з урахуванням часу повторного займання, кількісного і якісного складу горючого завантаження / О.В. Савченко, О.О. Кіреєв // «Актуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні цивільного захисту»: Матеріали днів науки факультету цивільного захисту та техногенної безпеки.– Ч.1. (Черкаси, 30–31 березня 2009 р) / МНС України, АПБ ім. Героїв Чорнобиля.– Черкаси, 2009.–С. 123–125.

49. Киреев А.А. Моделирование процесса тушения пожара гелеобразующими составами. Учёт времени повторного воспламенения / А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв // «Об'єднання теорії та практики – залог підвищення боєздатності оперативно–рятувальних підрозділів»: Матеріали науково–технічної конференції, (Харків, 2009 г) МНС України, НУЦЗУ. –Харків. – 2009.– С. 89–91.

50. Киреев А.А. Применение гелеобразующих составов при тушении пожаров на химически опасных объектах. / А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв, Святская Т.Н. // «Хімічна освіта в контексті хімічної безпеки: стан, проблеми і перспективи»: Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції (Київ 2011, 25-

26 лютого) МОН України, Національний педагогічний університет ім. Драгоманова.– Київ .– 2011.– С.53-54.

51. Киреев А.А. Применение гелеобразующих составов при тушении пожаров на химически опасных объектах / А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв // «Прикладні аспекти застосування хімії у сфері цивільного захисту»: Матеріали II науково–практичної конференції, (Черкаси, 2011 г) МНС України, АПБ ім. Героїв Чорнобиля. – Черкаси. – 2011.– С. 75–76.

52. Киреев А.А. Определение показателя огнетушащей способности гелеобразующих огнетушащих составов при тушении модельного очага пожара класса А / А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность». Часть 1. (Иваново, 2011) МЧС РФ, Иваново 28 -30 ноября 2011 г.– С. 290-292.

53. Киреев А.А. Исследование повторного воспламенения древесины, обработанной гелеобразующими огнетушащими составами / А.А. Киреев, А.Я. Шаршанов, К.В. Жерноклёв // Материалы XI Міжнародної науково-практичної конференції «Пожежна безпека та аварійно-рятувальні справи: стан, проблеми і перспективи («Пожежна безпека – 2013) (Київ 2013, 25-26 вересня) Київ.– 2013.– С. 392-395.

АНОТАЦІЯ

Кіреєв О.О. Гелеутворюючі вогнегасні і вогнезахисті засоби підвищеної ефективності стосовно пожеж класу А. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – «Пожежна безпека». Національний університет цивільного захисту України, Харків, 2014 р.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності гасіння пожеж класу А за рахунок використання гелеутворюючих систем (ГУС), які дозволили кардинально розв'язати проблему великих втрат рідинних засобів пожежогасіння. Вони являють собою два рідких склади, які роздільно–одночасно подаються до осередку пожежі. Компоненти розчинів підібрані так, що при їх змішування утворюється нетекучий шар гелю. Для досягнення високої ефективності компоненти ГУС треба підібрати так, щоб забезпечити високі охолоджуючі, інгібіруючі, ізолюючі і флегматизуючі властивості такої композиції.

Експериментально визначені області швидкого гелеутворення гелеутворюючих систем різної природи. Встановлено, що найбільші можливості мають силікатні системи. За результатами експериментів було встановлено, що системи в яких присутній ефективний інгібітор горіння – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ має суттєву перевагу у порівнянні із усіма іншими за показником вогнегасної здатності. За оперативними вогнезахисними властивостями перевагу має система $\text{CaCl}_2(35\%) + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$.

На підставі моделювання динаміки процесу охолодження поверхонь гелевим покриттям і процесу випарування крапель компонентів ГУС при проходженні ними області горіння встановлено, що охолоджувальна дія

гелевидних шарів в 6,3-8,5 разів перевищує охолоджувальну дію води, а також що мінімальний початковий розмір крапель має складати (0,8-1,1) мм.

На основі одержаних кількісних характеристик вогнегасної і оперативної вогнезахисної дії і математичного моделювання процесу гасіння пожежі встановлено, що ГУС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(5\%)+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(22\%) + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%)$ забезпечує в 4,4 рази менший час гасіння ніж вода для пожеж сталої площі. В разі зростання площі пожежі з часом ця перевага збільшується. На основі результатів експериментальних і теоретичних досліджень розроблені рекомендації що до використання гелеутворюючих систем оперативно-рятувальними підрозділами МНС України під час гасіння пожеж.

Ключові слова: гасіння пожеж, гелеутворюючі системи, показник вогнегасної здатності, оперативна вогнезахисна дія, час гасіння, модель процесу гасіння пожежі, оптимізація складу.

АННОТАЦИЯ

Киреев А.А. Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные средства повышенной эффективности применительно к пожарам класса А. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности – 21.06.02.– «Пожарная безопасность». Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков 2014.

Диссертация посвящена повышению эффективности тушения пожаров класса А за счёт использования гелеобразующих средств пожаротушения (ГОС).

Одним из основных недостатков существующих средств пожаротушения является низкий коэффициент использования огнетушащего вещества (ОВ). Потери наиболее распространенного ОВ – воды обусловлены стеканием её с вертикальных и наклонных поверхностей и эффектом плёночного кипения. Коэффициент использования воды в виде компактных струй при тушении большинства видов пожаров не превышает 10 %. При увеличении степени дисперсности воды потери за счёт её стекания уменьшаются, однако возрастают потери связанные с уносом мелких капель воды конвективными потоками. Ещё одним недостатком воды как огнетушащего средства является её низкие огнезащитные свойства, после испарения воды с обработанных поверхностей они могут быстро воспламеняться.

Кардинально решить проблему больших потерь жидкостных средств пожаротушения позволяет использование ГОС. Они состоят из двух отдельно хранимых и отдельно–одновременно подаваемых составов. Компоненты этих двух составов подбираются таким образом, чтобы при их смешении образовывалась нетекучая гелеобразная композиция. Это обеспечивает отсутствие потерь ОВ за счёт стекания. Основным компонентом образовавшегося геля является вода. Это обеспечивает высокое охлаждающее действие такой огнетушащей системы. Для достижения высокой

эффективности пожаротушения другие компоненты ГОС необходимо подобрать так, чтобы обеспечить высокие ингибирующие, изолирующие и флегматизирующие свойства.

Для выбора наиболее эффективной ГОС были проведены экспериментальные исследования концентрационных областей быстрого гелеобразования карбонатных, гидроксидных, фосфатных, боратных, гипсовых и силикатных систем. Установлено, что наибольшие возможности в повышении огнетушащих свойств дают силикатные системы. Они имеют широкую область быстрого гелеобразования, их гелеобразные слои имеют высокую прочность и хорошую адгезию к разным материалам.

На основании теоретических и экспериментальных исследований установлено, что наибольшее реальное охлаждающее действие проявляют системы содержащие соли аммония, особенно сульфата аммония и дигидрофосфата аммония. Также показано, что введение дигидрофосфата аммония в наибольшей степени повышает ингибирующие свойства ГОС. На основании моделирования динамики процесса охлаждения поверхностей глеевым покрытием и процесса испарения капель компонентов ГОС при пролёте ими области горения установлено, что охлаждающее действие гелеобразных слоёв в 6,3–8,5 раза превышает охлаждающее действие воды, а минимальный начальный размер капель должен составлять (0,8–1,1) мм.

По результатам тушения лабораторных модельных очагов пожара класса А установлено, что оптимальным по показателю огнетушащей способности является ГОС $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(5\%)+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(22\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%))$. При тушении очагов с высокими значениями коэффициента укладки наилучшие огнетушащие свойства показало использование одного компонента ГОС – дигидрофосфата аммония.

Экспериментально установлено, что ГОС проявляют на порядок большие оперативные огнезащитные свойства, чем вода. Из ГОС преимущество по оперативным огнезащитным свойствам проявляет система $\text{CaCl}_2(42\%) + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$. Слой геля толщиной более 3,5 мм обеспечивает отсутствие воспламенения свыше 1 часа.

Время повторного воспламенения древесины потушенной ГОС $\text{CaCl}_2(42\%) + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$ и $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%) + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4, \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ на порядок превышает время повторного воспламенения образцов потушенных такими же количествами воды. При толщине слоя геля $\text{CaCl}_2(42\%) + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$ больше 4 мм образцы потушенной древесины повторно не воспламеняются.

На основании полученных количественных характеристик огнетушащего и огнезащитного действия и математического моделирования процесса тушения пожара установлено, что ГОС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(5\%)+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(22\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%)$ обеспечивает в 4,4 раз меньшее время тушения по сравнению с водой в случае пожаров постоянной площади. В случае роста площади пожара со временем это преимущество ГОС быстро увеличивается. Показано, что на стадии локализации пожара

целесообразно применять ГОС с наилучшими огнезащитными свойствами – $\text{CaCl}_2(42\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$, а на стадии ликвидации пожара с наилучшими огнетушащими свойствами $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(5\%)+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(22\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%)$. По общему времени тушения при использовании этапов локализации и ликвидации пожара при площадях пожара до 50 м^2 и расходе ОВ на средстве подачи 5 кг/с преимущество имеет ГОС $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(5\%)+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(22\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%)$, больших по площади пожары можно потушить только с использованием ГОС $\text{CaCl}_2(42\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$.

Показано, что применение ГОС обеспечивает многократное уменьшение косвенного ущерба при тушении пожара по сравнению с применением традиционных средств пожаротушения.

Сконструированы и изготовлены автономные установки пожаротушения с помощью ГОС с гидравлическим и пневматическим распыливанием компонентов. На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований, а так же опыта практического тушения реальных пожаров разработаны рекомендации по использованию ГОС оперативно–спасательными подразделениями МЧС Украины при тушении пожаров.

Ключевые слова: тушение пожаров, гелеобразующие системы, показатель огнетушащей способности, оперативное огнезащитное действие, время тушения пожара, моделирование процесса тушения пожара, оптимизация состава.

ABSTRACT

Kireev A.A. Gel-forming firefighting and fireresistance means of raised efficiency to fire class A. – Manuscript.

The dissertation for seeking a scientific degree of doctor of technical sciences on a speciality 21.06.02 – “Fire Safety”. Civil Defence National University of Ukraine, Kharkov 2014.

This dissertation consider the problem increase of efficiency of suppression of fires of a class A by the means of gel-forming fire extinguishing means (GFM). GFM secure cardinaly to solve a problem of the big losses of liquid fire extinguishing means. They consist of two separately save and simultaneously submitted solutions. Components of these two solutions steal up so that at their mixture the composition was formed not fluid gel. For achievement of high efficiency of a firefighting components GFM are necessary for picking up to provide high cooling action, high inhibitory, isolating and flegmatisation properties.

For a choice of the most effective GFM experimental researches of concentration areas fast gel-forming carbonate, hydroxyl, phosphate, borate, plaster and silicate systems (34 systems) have been spent. It is established that the greatest possibilities in increase firefighting properties give silicate systems. They have wide area of fast gel-forming, them gel-like layers have high durability and good adhesion to different materials.

On the basis of theoretical and experimental researches is established that the greatest real cooling action show the systems containing salts of ammonium, especially $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$. Also it is shown that introduction of $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ in greatest degree raises inhibitory properties of GFM. By results of suppression of laboratory model seats of fire of a class A it is established that maximum of firefighting abilities have GFM $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(5\%)+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(22\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%)$. GFM $\text{CaCl}_2(42\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$ shows advantage on operative fireproof properties.

Autonomous device of a firefighting by means of GFM with hydraulic and pneumatic disperse of components are designed and made. Based on the results of theoretical and experimental researches recommendations for use GFM by operatively-saving and suppression of fires was work out.

Keywords: fire fighting, gel-forming means, fire fighting abilities, operative fireresistance action, time of fire fighting, modeling of process of fire fighting, optimization of composition.

Підписано до друку 16.06.14. Формат 60x84/16.
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