

УДК 614.842/.847

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОДНИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН НА ОСНОВІ РІДКОГО СКЛА

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.1.24-34>

Кодрик А. І., ORCID iD 0000-0002-3787-5674  
Коваленко В. В., ORCID iD 0000-0001-5780-5684  
Тітенко О. М., ORCID iD 0000-0002-4950-8580  
Борисов А. В\*, ORCID iD 0000-0001-6858-0492  
Стилик І. Г., ORCID iD 0000-0002-8474-2014  
Борисова А. С. ORCID iD 0000-0002-8700-0761  
\*E-mail: andr.borisov@ukr.net

*Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна*

### ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

*Надійшла до редакції: 25.05.2022  
Пройшла рецензування: 30.05.2022*

### КЛЮЧОВІ СЛОВА:

водні вогнегасні речовини;  
модифікування; охолодження;  
розбавлення; інгібування; час  
займання; припинення горіння;  
ефективність гасіння

### АНОТАЦІЯ

Розглянуто особливості взаємодії водних вогнегасних речовин з горючими середовищами і поверхнями горіння твердих горючих речовин як підґрунтя покращення показників якості наявних та розроблення нових зразків водних вогнегасних речовин з використанням гелеутворювальних сполук на основі рідкого скла, а також підвищення вогнегасної ефективності під час їх застосування в елементах систем протипожежного захисту об'єктів та пожежогасіння. Наведено результати лабораторних та натурних випробувань, що доводять доцільність поєднання компонентів рідкого натрієвого скла та поташу в складі вогнегасних гелеутворювальних сполук. Проаналізовано сучасний стан щодо наявності та тенденцій розроблення у світовій та вітчизняній практиці вогнегасних речовин та технологій їх застосування. Окреслено можливі шляхи удосконалення рецептур та підвищення ефективності застосування вогнегасних речовин насамперед з огляду на критерії ефективності, економічності та екологічності. Доведено, що порівняно з водою вогнегасні розчини на основі модифікованих систем та нових технологій їх продукування мають ряд переваг, які полягають в суттєвому збільшенні їх стійкості та адгезійних властивостей, підвищенні вогнезахисної дії через утворення під час подавання на полум'я пористого шару або плівки. Це ускладнює займання та захищає горючий матеріал внаслідок низької теплопровідності та ізолювання від доступу кисню повітря, що важливо у разі гасіння поверхневих пожеж класу А. На підставі аналізу використаних джерел, а також власних теоретичних та експериментальних досліджень сформовано наукову базу для подальшого науково-технічного прогресу у практичній діяльності виробників та споживачів продукції протипожежного призначення. Запропоновано шляхи удосконалення складів водних вогнегасних речовин та технологій їх застосування.

**Постановка проблеми.** Більшість сучасних технічних засобів, які знаходяться на озброєнні пожежно-рятувальних підрозділів, безпосередньо на гасіння пожеж використовують тільки 5...10% від загальної поданої для цього води. Це пояснюється фізико-механічними

властивостями води, насамперед низькою в'язкістю, яка визначає здатність чинити опір переміщенню однієї з частин щодо інших, властивістю до мінімізації площі поверхні, що зумовлює поверхневий натяг у рідинах, та слабкою змочуваністю у разі контакту з твердою поверхнею, зокрема за

наявності пари, яка характеризує «прилипання – адгезію» рідини до поверхонь гасіння і розтікання на них. Послаблення цих ефектів можна досягти через введення невеликих кількостей загусників – водорозчинних полімерів, наприклад ефірів целюлози, що призводить до підвищення в'язкості водного розчину та підвищення адгезії вогнегасного засобу до палаючого об'єкта [1–3]. Головним завданням зазвичай є створення умов, за яких нівелюються недоліки води, тобто сприяння відсутності стікання та кращому ізолюванню поверхонь вогнезахисним прошарком. Потрібне поєднання в одній технологічній операції декількох способів гасіння: охолодження, ізоляції та інгібування, що дасть змогу підвищити ефективність гасіння, зменшити витрати води та призведе до гальмування швидкості хімічних реакцій у полум'ї та утворення на палаючих поверхнях захисних плівок, які внаслідок своєї низької теплопровідності та ізолювання від доступу кисню повітря унеможливають повторне спалахування. З огляду на це розроблення нових сучасних зразків водних вогнегасних речовин з використанням сучасних гелеутворювальних сполук, а також підвищення вогнегасної ефективності під час їх застосування в елементах систем протипожежного захисту об'єктів та пожежогасіння є актуальним питанням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Таким чином, головними напрямками підвищення вогнегасної здатності води можна вважати зниження поверхневого натягу вогнегасного розчину, підвищення змочувальної здатності та в'язкості води через введення відповідних добавок, отримання оптимальної дисперсності краплин, додавання інгібіторів, використання води для утворення пінних розчинів за допомогою систем примусового подавання додаткового повітря [1; 4–7].

Ретельні дослідження щодо застосування гелеутворювальних складів під час гасіння пожеж проведено в Національному університеті цивільного

захисту України, результати яких викладено у працях [8–9]. В цих роботах запропоновано й обґрунтовано способи та засоби гасіння пожеж горючих матеріалів з використанням гелеутворювальних систем (на базі неорганічних сполук), основою яких є полісилікат натрію. Як коагулятори рекомендовано водні розчини солей багатовалентних металів. Для спрощення і забезпечення стабільності запропоновано роздільне подавання водних розчинів компонентів гелеутворювальних систем з наступним їх змішуванням на поверхні горіння або в спеціальному стволі. Після змішування компонентів гелеутворювальних систем на поверхнях утворюється шар гелю, який має високі вогнезахисні властивості. Вогнегасні гелеутворювальні системи (далі – ГУС) являють собою як мінімум два компоненти, які одночасно подають до камери змішування. Перший склад – це розчин гелеутворювального компоненту, а другий – склад-розчин каталізатора гелеутворення. За одночасного подавання двох розчинів вони змішуються, між компонентами розчинів відбувається взаємодія, що призводить до утворення спочатку золь-гелю, а потім – стійкого гелю. Гель утворює на поверхні нетекучий вогнезахисний прошарок, який надійно утримується на вертикальних і похилих поверхнях. Перевага гасіння ГУС порівняно з гасінням водою полягає у суттєвому зменшенні витрат вогнегасної речовини через відсутність стікання та краще ізолювання поверхонь вогнезахисним прошарком. Це дає змогу не тільки скоротити час гасіння, а й зменшити збитки внаслідок zalивання нижніх поверхів. Практичне застосування гасіння пожеж з використанням ГУС не отримало широкого впровадження через складність реалізації такої технології.

Автори [10–13] запропонували спосіб гасіння пожеж твердих горючих матеріалів з використанням рідкого скла в концентраціях від 5 до 50%. Рідке скло або розчинний силікат лужних металів літію, калію, натрію являє собою в'язку рідину із загальною хімічною формулою

$R_2O \cdot m SiO_2 \cdot n H_2O$  (де RO – оксид лужного металу, m – модуль рідкого скла, який знаходиться в межах 2,5...3,2) з густиною від 1 400 до 1 500 кг/м<sup>3</sup> і коефіцієнтом динамічної в'язкості до 1 Па·с. Рідке скло змішується з водою в будь-яких співвідношеннях і змінює в'язкість розчину від 0,004 до 0,5 Па·с у разі зміни густини розчину з 1 020 до 1 250 кг/м<sup>3</sup> під час використання ГУС на основі неорганічних сполук. У зазначеному діапазоні концентрації рідкого скла у складі водного розчину в'язкість розчину збільшується в 4 500 разів порівняно з в'язкістю води 0,001 Па·с за температури 20 °С. Автори стверджують, що така зміна в'язкості водних розчинів, використовуваних для гасіння пожеж, практично недосяжна у разі використання органічних або інших неорганічних загусників. Водночас істотно підвищується щільність розчину, що сприяє збільшенню кінетичної енергії руху струменя розчину порівняно з енергією струменя води, спрямованої в осередок горіння з однаковою швидкістю. Дальність польоту струменя розчину також збільшується. У роботах [11–12] наведено феноменологічний опис процесу гасіння твердих горючих матеріалів (далі – ТГМ) запропонованими розчинами.

Наведений опис процесів потребує уточнення, оскільки не враховує додаткових ефектів, що відбуваються під час потрапляння запропонованої водної вогнегасної речовини (далі – ВВР) на поверхню розжареного ТГМ (ефект Лейденфроста тощо). Також потребують уточнення й кількісні характеристики, оскільки вони отримані під час попереднього нанесення ВВР на рейки деревини за температури 20 °С з подальшими випробуваннями в муфельній печі без впливу відкритого полум'я.

Також вбачається, що під час розроблення складу ВВР на основі рідкого скла перспективним буде додавання компонентів, що до того ж забезпечують підсилення ефекту інгібування

ланцюгових реакцій горіння. Водночас слід очікувати підвищення ефективності гасіння як горіння ТГМ, так і перешкоджання його повторному займанню. В цьому сенсі для підвищення вогнегасної ефективності до гелеутворювальних водних розчинів додають солі, наприклад хлорид натрію, карбонат амонію, бікарбонат калію [14] і, таким чином, створюють комбіновані ВВР.

У роботі [14] досліджувалися вплив рідкого натрієвого та калієвого скла на випаровуваність вогнегасної речовини в часі залежно від її складу, зміна поверхневого натягу та здатність до прилипання, зміна кінематичної та динамічної в'язкості залежно від складу та концентрації композицій, залежність часу займання матеріалу, обробленого рідким склом. Встановлено, що:

- випаровуваність рідини у статичному стані для водного розчину рідкого скла (натр.) за типових значень може досягати близько 80 % (відносно випаровуваності води);

- величина поверхневого натягу у першому наближенні залежить тільки від вмісту поверхнево-активних речовин (далі – ПАР) та його критичної величини, що орієнтовно дорівнює 0,1 % практично незалежно від вмісту інших компонентів, з яким проводилися експерименти;

- величина відносної здатності до прилипання розчину з додаванням рідкого скла збільшується з підвищенням його концентрації у розчині.

**Формулювання цілей досліджень.** Метою цієї роботи є пошук шляхів підвищення ефективності ВВР на основі рідкого скла внаслідок додавання цільових хімічних добавок.

Об'єктом досліджень є процес гасіння ТГМ із використанням ВВР на основі рідкого скла.

Предмет досліджень – вплив фізико-хімічних властивостей активних добавок до води на реалізацію комплексу факторів припинення горіння під час гасіння ТГМ із використанням ВВР на основі рідкого скла.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналітичні дослідження наявних даних теорії та практики пожежогасіння із використанням ГУС для визначення найбільш перспективних додаткових компонентів у складах ГУС на основі рідкого скла та відповідний комплекс лабораторних і натурних випробувань з визначення ефективності гасіння ТГМ із використанням ВВР обраних складів.

**Методи дослідження.** В роботі було застосовано аналітичний метод дослідження особливостей реалізації факторів припинення горіння ТГМ під час їх гасіння складами ГУС на основі рідкого скла. Представлено результати лабораторних та натурних досліджень залежності часу займання матеріалу, обробленого рідким склом різної концентрації, та впливу зміни складу й концентрації ВВР на їх вогнегасну здатність під час гасіння модельних вогнищ.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На основі аналізу наведених вище джерел як перспективні вибрані ВВР на основі ГУС у складі таких компонентів: рідкого натрієвого та калієвого скла й поташу ( $K_2CO_3$ ). Для підвищення змочувальної здатності та зменшення поверхневого натягу ВВР застосовувалося

додавання піноутворювачів (далі – ПУ), таких як АFFF та Альпен.

Для виявлення впливу концентрацій гелеутворювальних компонентів на характеристики протидії вогню у разі займання соснової деревини у полум'ї газового пальника вимірювався час займання подрібненої соснової деревини фракційністю 3...15 мм і товщиною 1,5 мм. Використовували водні розчини рідкого натрієвого скла з концентраціями 0,5 %, 1 %, 2 %, 5 %, 10 %, 20 % та 50 %, рідкого калієвого скла з концентрацією 0,5 %, 1 %, 2 %, 5 %, 10 %, 20 %. Розчини готувалися до проведення дослідів, позначалися, та їх позначення заносили до таблиці.

Дослідні зразки соснової деревини у кількості 4,5 г розміщували у 150 г відповідного розчину, перемішували протягом 10 с та перекладали на металеве сито, давали стекти вільній речовині протягом 30 с, перемішували на зважене металеве сітчасте деко (рис. 1, а), зважували разом з обробленим відповідним розчином дослідним зразком, розміщували над полум'ям газової горілки та фіксували час займання. Температура полум'я фіксувалася за допомогою каліброваного інформаційно-вимірювального комплексу «Термоконт» і складала 800...850 С. Отримані результати заносили до протоколу випробувань. Кожен дослід проводили тричі.

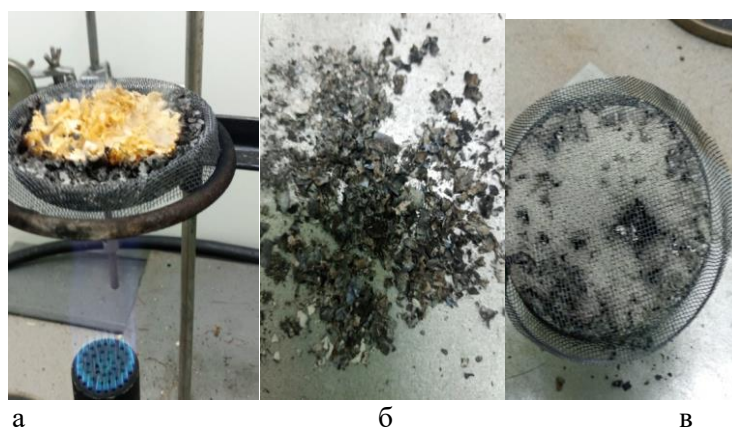


Рисунок 1 – Процес визначення часу займання: (а) під час застосування водного рідкого натрієвого скла; загальний вигляд деревини (б) після припинення дослідів; утворення твердої захисної плівки (в) на поверхні сітчастого дека після припинення дослідів

Джерело: розроблено авторами

Аналізуючи отримані дані, слід зауважити, що у разі додавання рідкого скла у концентрації понад 3% займання деревини не відбувається, на поверхні виникає захисна плівка, деревина втрачає у вазі, а процес горіння переходить у процес піролізу, який припиняється відразу після прибирання відкритого полум'я. Досліди проводили протягом 500 с. На рис. 1 наведено фото процесу визначення часу займання у разі застосування водного рідкого натрієвого скла, загальний вигляд

деревини після припинення досліду та утворення твердої захисної плівки на поверхні сітчастого дека після припинення досліду.

За результатами випробувань побудовані графіки залежності часу займання й величини плівки на поверхні від складу вогнегасної речовини та концентрації у розчині:

- рідкого натрієвого скла, рис. 2;
- рідкого калієвого скла, рис. 3.

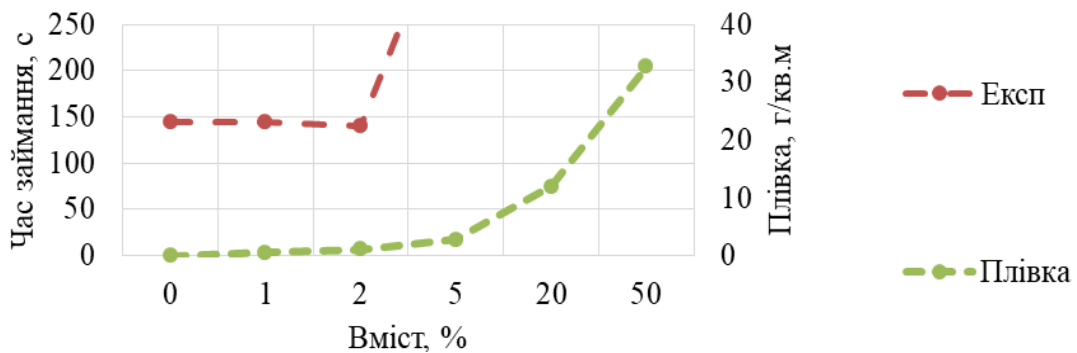


Рисунок 2 – Залежність часу займання та величини плівки на поверхні від концентрації водного розчину рідкого скла (натр.)

Джерело: розроблено авторами

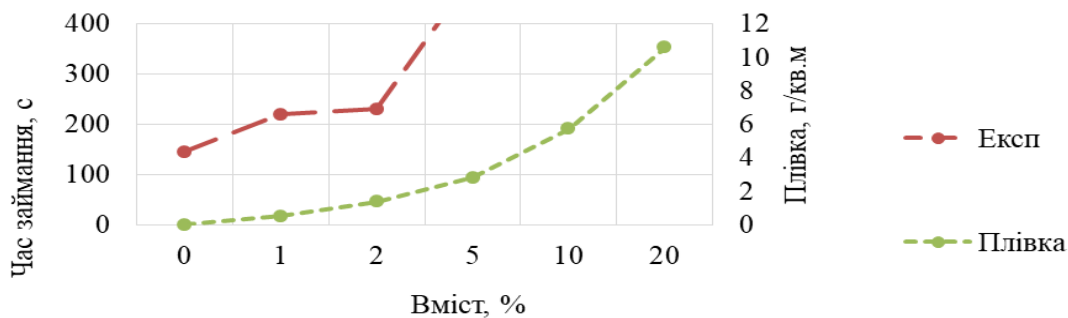


Рисунок 3 – Залежність часу займання та величини плівки на поверхні від виду вогнегасної речовини та концентрації водного розчину рідкого скла (калій)

Джерело: розроблено авторами

Для визначення ефективності гасіння запропонованих розчинів були проведені їх порівняльні випробування під час гасіння вогнищ класу А в лабораторних умовах та модельних вогнищ класу 1А та 2А з використанням вогнегасників ВВ-9 на полігоні.

У лабораторних умовах дослідження з визначення відносної вогнегасної ефективності під час гасіння пожежі класу А тонко розпиленими струменями

проводилися з урахуванням методів та результатів досліджень [1; 15–19]. До початку досліду було підготовлено досліджувані зразки ВВР через додавання до питної води, що відповідає ДСТУ 7525:2014, наведених вище компонентів у пропорціях згідно з таб. 1.

Також відомо [16; 20–21], що застосування як компонента до вогнегасної речовини солей калію (наприклад карбонату калію – поташу) ефективніше,

ніж застосування солей натрію (наприклад бікарбонату натрію – соди). Зважаючи на це, до програми дослідів ми включили застосування як добавки до вогнегасної речовини солей калію. Вимірювання витрат вогнегасної речовини, враховуючи в'язкість компонентів, проводили до початку та після закінчення експерименту.

Зауважимо, що під час використання лише води як вогнегасної речовини, модельне вогнище загасити не вдалося.

Надалі як еталон для порівняння використовували розчин води з 0,2 % піноутворювача AFFF.

Склад вогнегасних речовин під час проведення експериментів з гасіння тонко розпилим струменем модельних вогнищ наведено у табл. 1.

На рис. 4 наведена діаграма залежності часу гасіння модельного вогнища від складу (згідно з нумерацією складів табл. 1) вогнегасної речовини.

Таблиця 1 – Склад вогнегасних речовин під час проведення експериментів з гасіння тонко розпилим струменем модельних вогнищ

№ складу	Склад водного вогнегасного розчину
1	Рідке скло 15 %, плівкоутворювальний ПУ AFFF 0,2 %, залишок – вода
2	Вода та плівкоутворювальний ПУ AFFF 0,2 %
3	Рідке скло 12 %, поташ 12 %, плівкоутворювальний ПУ AFFF 0,2 %, залишок – вода
4	Рідке скло 6 %, поташ 6 %; плівкоутворювальний ПУ AFFF 0,2 %

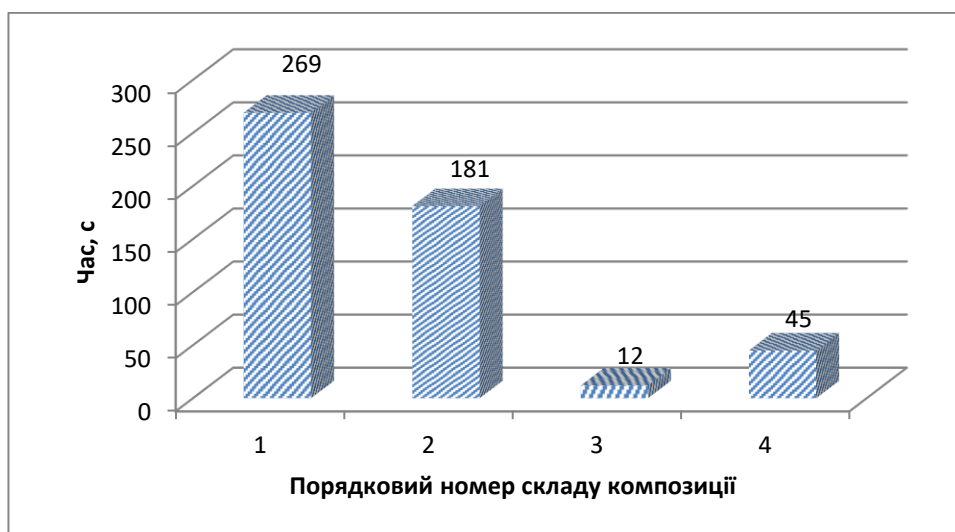


Рисунок 4 – Діаграма залежності часу гасіння модельного вогнища від складу (згідно з нумерацією складів табл. 1) вогнегасної речовини

Джерело: розроблено авторами

Відносна ефективність гасіння  $i$ -тої вогнегасної речовини розраховується за формулами (1):

$$E_i = \frac{M_0}{M_i} \cdot \frac{T_0}{T_i}, \quad (1)$$

де:  $M_0$  – умовна витрата вогнегасної величини складу № 2 (згідно з нумерацією складів табл. 1), кг;

$M_i$  – умовна витрата вогнегасної величини для  $i$ -го складу вогнегасної речовини, кг;  
 $T_0$  – час, витрачений на гасіння з використанням вогнегасної величини складу № 2, с;  
 $T_i$  – час, витрачений на гасіння з використанням вогнегасної величини  $i$ -го складу, с.





Рисунок 5 – Діаграма залежності відносної ефективності гасіння модельного вогнища від складу (згідно з нумерацією складів табл. 1) вогнегасної речовини

Джерело: розроблено авторами

Аналізуючи результати експериментів, ми можемо відзначити, що, крім досліду 1 (додавання високої концентрації рідкого скла, де мало місце зменшення інтенсивності подачі ВВР до двох разів, внаслідок утворення на забірному фільтрі плівки скла, що спотворювало результати дослідів), наявним є підвищення відносної вогнегасної ефективності. Додавання поташу підвищує вогнегасну ефективність розчинів, але ускладнює склад ВВР. Зазначимо, що найбільший ефект досягнуто

у разі додавання поташу та рідкого скла у мольному співвідношенні 1:1. Збільшення концентрації поташу та рідкого скла у розчині призводить до підвищення вогнегасної ефективності розчину.

Отже, найкращі результати отримали під час застосування розчинів рідкого скла і поташу. Слід зазначити, що під час гасіння модельних вогнищ пропонованими ВВР на поверхні модельних вогнищ утворювалися захисні плівки (рис. 6), які активно впливають на процес гасіння.



Рисунок 6 – Утворення захисної плівки після гасіння модельних вогнищ у разі застосування як вогнегасної речовини: рідкого скла та поташу (а); та рідкого скла (б)

Джерело: розроблено авторами

Для отримання більш об'єктивної оцінки ефективності запропонованих ВВР було проведено випробування в полігонних умовах під час гасіння модельних вогнищ

класів 1А та 2А з використанням [22] вогнегасників ВВ-9(3)-Б.

Як контрольну вогнегасну речовину застосували стандартний заряд

вогнегасника ВВ-9(3)-Б – водний 6 % розчин піноутворювача загального призначення.

Унаслідок проведених експериментів з оцінки вогнегасної здатності щодо гасіння модельних вогнищ були виміряні та розраховані:

- час ліквідації відкритого полум'я;
- умовна витрата вогнегасної речовини для ліквідації відкритого полум'я (величина, що незалежна від розміру модельного вогнища);
- відносна ефективність водної вогнегасної речовини.

Загальний час гасіння вогнища згідно з ДСТУ 3635-98 не перевищував 120 с. У табл. 2 наведено склади ВВР, які використовувалися під час проведення експериментів із прив'язкою до номера досліду.

Таблиця 2 – Склади ВВР в експериментах за часом ліквідації відкритого полум'я модельних вогнищ 2А

№ експерименту	Модельне вогнище	Склад водного вогнегасного розчину
1	1А	Як ПАР плівкоутворювальний АFFF 0,2 %, вода – решта
2	2А	Як ПАР плівкоутворювальний АFFF 1 %, поташ 10 %, рідке скло (натрієве) 10 %, вода – решта
3	2А	Вода та 6% ПУ загального призначення Альпен

Джерело: Розроблено авторами

У зв'язку з тим, що під час експериментів використовувалися модельні вогнища (1А й 2А) та для можливості

Таблиця 3 – Результати експериментів щодо гасіння модельних вогнищ 1А та 2А

№ складу	Витрата, кг	Вода, %	ПАВ, %	Рідке скло (натрієве), %	Поташ, %	Сульфат алюм., %	Мод. вогнище	Час ліквідації полум'я, с	Умовні витрати на ліквідацію, кг	Ефективність Гасіння, %
1	6,570	99,8	0,2	-	-	-	1А	57	13,08	1,00
2	8,555	79,0	1,0	10	10	-	2А	23	8,555	3,79
3	8,580	94,0	6,0	-	-	-	2А	120	Не погашено	

Джерело: розроблено авторами

порівняння результатів бралися дві основні характеристики – витрата ВВР та ефективність гасіння ВВР, розрахунки проводились у вигляді умовної витрати ВВР за формулою (1) та відносною ефективності гасіння ВВР за формулою (2):

$$M_i = M_b \cdot \frac{S_{2A}}{S_{jA}}, \quad (2)$$

де:  $M_b$  6,570 – витрата вогнегасної речовини складу № 1 (див. табл. 3), що витрачена на повне гасіння модельного вогнища (різниця між масою вогнегасника до та після гасіння), кг;  
 $S_{2A}$  9,36 м<sup>2</sup> – площа вільної поверхні модельного вогнища 2А;  
 $S_{jA}$  – площа вільної поверхні модельного вогнища jА, що використовується для досліду з i-тою вогнегасною речовиною.

Відносна ефективність гасіння i-тої вогнегасної речовини розраховується за формулою (1), де як  $M_0$  приймається умовна витрата вогнегасної величини складу № 1 (табл. 2), але в умовах використання різних модельних вогнищ обчислена за формулою (2), а як  $T_0$  – береться час, витрачений на гасіння з використанням вогнегасної величини складу № 1 (табл. 2).

Оброблені результати експериментів щодо гасіння модельних вогнищ 1А та 2А з використанням вогнегасників ВВ-9(3)-Б, що заряджаються вогнегасними речовинами різного складу згідно з табл. 2, наведено в табл. 3.



Аналізуючи отримані результати можна зауважити, що додавання до водних розчинів рідкого скла та поташу підсилює ефективність гасіння. Зазначене можливо пояснити поєднанням (одночасною реалізацією) ефектів охолодження, ізолювання та інгібування.

**Висновки та напрями подальших досліджень.** Основні напрями підвищення вогнегасної ефективності водних вогнегасних речовин спрямовані на підвищення коефіцієнта використання води за призначенням через розроблення складів та технологій зниження поверхневого натягу вогнегасного розчину, підвищення змочувальної здатності та в'язкості води внаслідок застосування сучасних відповідних добавок, отримання оптимальної дисперсності краплин та додавання інгібіторів горіння.

1. Під час гасіння модельних вогнищ запропонованими ВВР на поверхні модельних вогнищ утворювалися захисні плівки, які сприяли процесу гасіння. Зазначимо, що найбільший ефект досягнуто у разі додавання поташу та рідкого скла у рівних пропорціях. Збільшення концентрації поташу та рідкого скла у

розчині призводить до підвищення вогнегасної ефективності розчину.

2. Головними позитивними властивостями вогнегасного розчину рідкого скла є можливість зміни в'язкості ВВР у широкому діапазоні, збільшення щільності розчину та утворення ізолювальної плівки під час потрапляння на поверхню твердого тіла, що горить. Наведено обґрунтування використання водного розчину для гасіння пожеж, що містить 5...20 % рідкого скла. Перспективним є додавання в розчин рідкого скла поташу  $K_2CO_3$  з метою підвищення інгібувальних властивостей вогнегасного розчину. Найбільший ефект досягнуто під час додавання поташу та рідкого скла у рівних пропорціях. Збільшення концентрації поташу та рідкого скла у розчині призводить до підвищення вогнегасної ефективності розчину.

Склади запропонованих ВВР потрібно оптимізувати в подальших дослідженнях залежно від напрямів їх використання. Додатково потребує вивчення вплив додавання до розчину диспергаторів для зменшення розмірів краплин.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Провести дослідження з розкриття особливостей процесів припинення горіння горючих речовин під час застосування сучасних вогнегасних речовин та технологій їх подавання : звіт про науково-дослідну роботу ; наук. кер. А. В. Антонов. Київ : УкрНДІЦЗ, 2015. 147 с.
2. Наконечный С. Н., Винокуров М. В., Михалин В. Н. Исследование влияния огнезащитного состава на воспламеняемость древесины. *Современные пожаробезопасные материалы и технологии* : сбор. материалов междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году культ. безопас. (г. Иваново, 19 сент. 2018 г.). Ч. II. ЦЗ України. Харків. С. 96–100.
3. Жартовський С. В. Системний підхід до забезпечення активного і пасивного протипожежного захисту об'єктів. *14-та Всеукраїнська науково-практична конференція рятувальників* : збір. матеріалів. Київ : ІДУЦЗ, 2012. С. 180–183.
4. Mathematical modeling of gas-liquid flow in compressed air foam generation systems / A. I. Kodrik, S. M. Shakhov, S. A. Vinogradov, O. M. Titenko, O. V. Parkhomchuk. *Technology audit and production reserves*. 2020. № 4/3(54). P. 29–35.
5. Consideration of thermodynamic processes formation of compressed-air foam in desing compressed air foam systems / A. I. Kodrik, S. M. Shakhov, S. A. Vinogradov, O. M. Titenko, O. V. Parkhomchuk. *Science Forum : materials* (Volume 1006), August 2020. URL : <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1006.11> (дата звернення : 05.05.2022).
6. Taylor R. G. *Compressed air foam systems in limited staffing conditions*. New Jersey : Morristown Fire Bureau, 1997. P. 75–112.
7. Залежність властивостей компресійної піни від робочих параметрів процесу генерування піни / А. І. Кодрик, О. М. Тітенко, С. М. Шахов, О. В. Куртов. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. Вип. 1(7). Київ : УкрНДІЦЗ, 2019. С. 54–63.
8. Ю. А. Абрамов, А. А. Киреев. Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные средства повышенной эффективности применительно к пожарам класса А : монографія. Харьков : НУГЗУ, 2015. 254 с.
9. Бабенко О. В. Використання явища гелеутворення для підвищення ефективності рідинних засобів пожежогасіння : дис... канд. техн. наук зі спеціальності «пожежна безпека» - 21.06.02 ; Академія цивільного захисту України. Харків, 2004. 225 с. С. 134–148.
10. Пат. 2275951 Россия МПК А62D 1/00 (2006.01). Водный раствор для тушения пожаров / Лотов В. А., Смирнов А. П., Лотова Л. Г. Заявлено. 09.11.2004; Опубл. 10.05.2006. Бюл. № 13.

11. Янц А. И., Павлов М. М. Жидкофазные огнетушащие составы на основе жидкого стекла. К вопросу применения огнетушащих составов на основе жидкого стекла при тушении лесного пожара. *Инновационная наука*. Уфа, 2017. № 8. С. 28–29.
12. Теличко Э. В. Применение огнетушащих составов на основе жидкого стекла. Информационные технологии (ИТ) в контроле, управлении качеством и безопасности : сборник научных трудов. *VIII Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее»*, 7–12 октяб. 2019 г. Томск : ТПУ, 2019. С. 305–309.
13. Гидротермальный синтез полисиликатов при производстве вспененных водостойких материалов типа  $R_2O \cdot n SiO_2$  / И. М. Терещенко, О. Б. Дормешкин, А. П. Кравчук, Б. П. Жих. *Весті національної академії наук Беларусі. Серія хімічних наук*. № 2. 2016.
14. Наукове обґрунтування підвищення ефективності гасіння пожеж за рахунок модифікації складів водних вогнегасних речовин та способів їх подавання : звіт про науково-дослідну роботу / наук. кер. А. І. Кодрик. Київ : ІДУ НД ЦЗ, 2021. 239 с.
15. Ivchenko O.A. Fire extinguishing of forest flammable materials by hydrogels based on aluminum hydroxide / O. A. Ivchenko, K. E. Pankin. *Forestry Engineering Journal*. Vol. 9. No. 1(33). P. 76–84. DOI : 10.12737/article\_5c92016e1314b2.49705560.
16. Research of the extinguishing properties of water and hydrogel with carbon nanoparticles for liquidation burning of the petroleum products / A. V. Ivanov та ін. *Fire and Explosion Safety*. 2017. Vol. 26. № 8. P. 31–44. DOI : 10.18322/PVB.2017.26.08. 31–44.
17. Христич В. В., Маляров М. В., Бондаренко С. М. Современные способы повышения эффективности тушения пожара распыленной водой. *Проблемы пожарной безопасности*. Харьков : НУГЗУ, 2013. Вип. 33. С. 176–182.
18. Кустов М. В. Розробка вогнегасного складу підвищеної ефективності на основі водних стабілізованих емульсій для гасіння пожеж класу «А» : автореф. дис. канд. техн. наук : 21.06.02. Харків, 2009. 24 с.
19. Жартовський С. В. Виявлення впливу хімічного складу водних вогнегасних речовин на основі  $Na_2SiO_3$  та  $K_2CO_3$  на їх вогнегасну ефективність під час гасіння вогнищ класу А. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій* : міжнар. наук.-практ. конф. ; Черкаси, 8–11 верес. 2016. 46–49 с.
20. Дослідження ефективності тонкорозпиленої водної вогнегасної речовини з цільовими добавками / С. В. Жартовський, В. В. Ніжник, О. О. Сізіков, Я. В. Балло, В. С. Бенедюк. *Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації* : міжнар. наук.-практ. конф., Львів, 2016. С. 158–162.
21. Козяр Н. М. Підвищення ефективності застосування водних та водопінних вогнегасних речовин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 21.06.02 «Пожежна безпека». Київ, 2009. 23 с.
22. Сізіков, О. О. Вплив цільових добавок до води на ефективність гасіння пожеж твердих речовин. *Науковий вісник Нац. лісотехн. ун-ту України*. Львів, 2017. Т. 26. № 8. С. 293–303.

## REFERENCES

1. Nauk. ker. Antonov, A.V. (2015) Zvit pro naukovo-doslidnu robotu «Provesty doslidzhennia z rozkryttia osoblyvostei protsesiv prypynennia horinnia horiuchykh rehovyn pid chas zastosuvannia suchasnykh vohnehasnykh rehovyn ta tekhnolohii yikh podavannia» [in Ukraine].
2. Nakonechnii S. N., Vinokurov M. V., Mihalini V. N. Issledovanie vlianiya ognezash'itnogo sostava na vosplameniyaemost drevesini. Sovremennye požharobezopasnie materialy i tehnologii : sbor. materialov mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyash'. godu kult. bezopas, 19 sentiabria, chast II s. 96–100. TsZ Ukrainy, Kharkiv [in Ukraine].
3. Zhartovskiy, S. V. (2012) Systemnyi pidkhid do zabezpechennia aktyvnoho i pasyvnoho protypozhezhnoho zakhystu obektiv // Materialy 14-yi Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii riaturalnykh. Kyiv, IDUNDCZ, S. 180– 83 [in Ukraine].
4. Kodrik, A. I., Shakhov, S. M., Vinogradov, S. A., Titenko, O. M., Parkhomchuk, O. V. (2020). Mathematical modeling of gas-liquid flow in compressed air foam generation systems Parkhomchuk. *Technology audit and production reserves*. № 4/3(54), P. 29–35 [in Ukraine].
5. Kodrik, A., Titenko, O., Vinogradov, S., & Shakhov, S. (2020). Consideration of Thermodynamic Processes Formation of Compressed-Air Foam in Design Compressed Air Foam Systems. *Materials Science Forum*, 1006, 11–18. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.11> [in Ukraine].
6. Taylor, R. G. (1997) Compressed air foam systems in limited staffing conditions. New Jersey : *Morristown Fire Bureau*, 75. 112 c. [in Ukraine].
7. Kodryk, A. I. Titenko, O. M., Shakhov, S. M., Kurtov, O. V. (2019) Zalezhnist vlastyvoستي kompresii noi piny vid robochykh parametriv protsesu heneruvannia piny. *Naukovyi visnyk : Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 1(7). K.: UkrNDICZ. S. 54– 63 [in Ukraine].
8. Abramov, Yu. A., Kyreev, A. A. (2015) Heleobrazuiushchye ohnetushashchye y ohnezashchytnye sredstva povыshennoi efektyvnosti prymenytelno k požharam klassa A. Kharkov : NUHZU, 254 s. [in Ukraine].
9. Babenko, O. V. (2004) Vykorystannia yavыshcha heleutvorennia dlia pidvыshchennia efektyvnosti ridynnykh zasobiv pozhezhohasinnia : dys... kand. tekhn. nauk zi spetsialnosti «pozhezhna bezpeka» 21.06.02. *Akademiia tsyvilnoho zakhystu Ukrainy*. Kh., 225 ark. : rys., tabl. Bibliohr. : s. 134–148 [in Ukraine].
10. Lotov, V. A., Smyrnov, A. P., Lotova, L. H. (2006). Pat. 2275951 Rossyia MPK A62D 1/00 (01). Vodnyi rastvor dlia tusheniya požharov / 09.11.2004 ; Opubl. 10.05.2006, Biul. № 13.
11. Yanc, A. I., Pavlov, M. M. ZHidkofaznie ognetushash'ie sostavy na osnove zhidkogo stekla. K voprosu primeneniya ognetushash'ih sostavov na osnove zhidkogo stekla pri tushenii lesnogo požhara. *Innovacionnaya nauka*. Ufa, № 8. s. 28–29. *K voprosu prymeneniya ohnetushashchykh sostavov na osnove zhydkoho stekla pry tushenyy lesnogo požhara* [in Ukraine].
12. Telichko E. V. Primenenie ognetushash'ih sostavov na osnove zhidkogo stekla. Informacionnie tehnologii (IT) v kontrole, upravlenii kachestvom i bezopasnosti : sbornik nauchnih trudov. VIII Mezhdunarodnoi konferentsii shkolnikov, studentov, aspirantov, molodih uchenih «Resursoeffektivnie sistemi v upravlenii i kontrole: vzglyad v budush'ee», 7 – 12 oktiabria, Tomsk : Yzd-vo TPU, s. 305–309.
13. Gidrotermalniy sintez polisilikatov pri proizvodstve vspenennih vodostoikih materialov tipa  $R_2O \cdot n SiO_2$ . I. M. Teresh'enko, O. B. Dormeshkin, A. P. Kravchuk, B. P. ZHih. *Vesti natsionalnai akademii navuk Belarusi. Seriya himichnih navuk*. № 2. 2016.

14. Nauk. ker. Kodryk, A. I. (2021) Zvit pro naukovo-doslidnu robotu «Naukove obgruntuvannia pidvyshchennia efektyvnosti hasinnia pozhezh za rakhunok modyfikatsii skladiv vodnykh vohnehasnykh rehovyn ta sposobiv yikh podavannia», K. : IDU ND CZ DSNS Ukrainy. 239 s. [in Ukraine].
15. Ivchenko, O. A., Pankin, K. E. Tushenie lesnyh gorjuchih materialov gidrogeljami na osnove gidroksida aljuminija [Fire extinguishing of forest flammable materials by hydrogels based on aluminum hydroxide]. *Lesotekhnicheskij zhurnal [Forestry Engineering Journal]*, Vol. 9, No. 1(33), p. 76–84. DOI : 10.12737.article\_5c92016e1314b2.49705560.
16. Research of the extinguishing properties of water and hydrogel with carbon nanoparticles for liquidation burning of the petroleum products. *Pozharovzryvobezopasnost*. Ivanov A. V. [ta insh.]. Fire and Explosion Safety, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 31–44 (in Russian). DOI : 10.18322/PVB.2017.26.08.31-44.
17. Khrystych, V. V., Maliarov, M. V., Bondarenko, S. M. (2013) Sovremennie sposobi povsheniya effektivnosti tusheniya pozhara raspilenoii vodoi. *Problemi pozharnoi bezopasnosti*. Harkov: NUHZU, vyp. 33. S. 176–182.
18. Kustov, M. V. (2009) Rozrobka vohnehasnogo skladu pidvyshchenoi efektyvnosti na osnovi vodnykh stabilizovanykh emulsii dlia hasinnia pozhezh klasu «A» : Avtoref. dys. kand. t.n. : 21.06.02. Kustov, M. V. ; Kharkiv, 2009. 24. [in Ukraine].
19. Zhartovskyi, S. V. (2016) Vyavlennia vplyvu khimichnogo skladu vodnykh vohnehasnykh rehovyn na osnovi Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ta K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> na yikh vohnehasnu efektyvnist pid chas hasinnia vohnyshch klasu A. *Teoriia i praktyka hasinnia pozhezh ta likvidatsii nadzvychainykh sytuatsii : Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia*, Cherkasy, 8–11 veresnia. 46–49 [in Ukraine].
20. Zhartovskyi, C. V., Nizhnyk, V. V., Sizikov O. O., Ballo, Ya.V., Benediuk, V. S. (2016) Doslidzhennia efektyvnosti tonkorozpylenoi vodnoi vohnehasnoi rehovyny z tsilovymy dobavkamy. S. V. Zhartovskyi. *Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Pozhezhna ta tekhnohenna bezpeka. Teoriia, praktyka, innovatsii»*. Lviv. S. 158–162. [in Ukraine].
21. Koziar, N. M. (2009) Pidvyshchennia efektyvnosti zastosuvannia vodnykh ta vodopinnykh vohnehasnykh rehovyn : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : spets. 21.06.02 «Pozhezhna bezpeka». Kyiv. 23 c. [in Ukraine].
22. Sizikov, O. O. (2017) Vplyv tsilovykh dobavok do vody na efektyvnist hasinnia pozhezh tverdykh rehovyn. *Naukovyi visnyk Nats. lisotekhn. un-tu Ukrainy*. Lviv. T. 26, № 8. C. 293–303 [in Ukraine].

## WAYS OF INCREASING THE EFFECTIVENESS OF AQUEOUS FIRE EXTINGUISHING AGENT BASED ON LIQUID GLASS

A. Kodryk, V. Kovalenko, O. Titenko, A. Borysov, I. Stylyk, A. Borysova

*Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine*

---

### KEYWORDS: ANNOTATION

aqueous fire extinguishing agents; modification; cooling, dilution; inhibition; ignition time; stop of burning; extinguishing efficiency

The peculiarities of interaction of aqueous fire extinguishing substances with combustible medium and combustible surfaces as a basis for improving the quality of existing and developing new modern samples of water extinguishing agents with using modern gelling compounds based on liquid glass, as well as increasing fire extinguishing efficiency during using in fire protection systems of facilities and firefighting were considered. The results of laboratory and field testing which prove the expediency of combining the components of liquid sodium glass and potash in the composition of fire-extinguishing gelling compounds are proved. Ways to improve the composition of aqueous fire extinguishing substances and technologies for their application are offered. The current state of the availability and trends of development in the world and domestic practice of fire extinguishing substances and technologies for their use is analyzed. Possible ways to improve recipes and increase the efficiency of fire extinguishing substances are outlined, taking into account, first of all, the criteria of efficiency, economy and environmental friendliness. It is proved that in comparison with water fire extinguishing solutions on the basis of modified systems and new technologies of their production have a number of advantages, which are a significant increase in their stability and adhesive properties, increased fire-retardant effect due to the formation of a porous layer or film, which complicates the ignition and protects the combustible material due to its low thermal conductivity and isolation from oxygen access, which is important in extinguishing surface fires of class A. Based on the analysis of literature sources, as well as their own theoretical and experimental research, the scientific basis for further scientific and technological progress in the practice of producers and consumers of firefighting products has been accumulated.