

*Д.І. Савельєв, М.А. Чиркіна, канд. техн. наук, доцент
(Національний університет цивільного захисту України)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ДІЇ ГЕЛЕУТВОРЮВАЛЬНОГО СКЛАДУ НА ХВОЙНІЙ ЛІСОВІЙ ПІДСТИЛЦІ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

Проаналізовано результати експериментальних досліджень вогнезахисної дії гелеутворювальної системи ($\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$) по відношенню до хвойної лісової підстилки. На основі отриманого регресійного рівняння вивчений вплив концентрації компонентів системи, маси нанесеного покриття і часу сушки обробленого лісового горючого матеріалу на час її вогнезахисної дії. Розглянута залежність часу вогнезахисної дії від питомої витрати гелеутворювальної системи і часу висушування обробленої ділянки лісової підстилки.

Ключові слова: гасіння лісових пожеж, низові лісові пожежі, хвойна лісова підстилка, гелеутворювальні системи, окремo-послідовне подання, вогнезахист, хімічні опорні смуги.

D. Saveliev, M. Chyrkina

THE FIRE-RETARDANT ACTION OF THE GEL-FORMING COMPOSITION APPLIED TO CONIFEROUS FOREST LITTER: A LABORATORY-BASED STUDY

The article discusses the results of experiments on the fire-retardant properties of the gel-forming composition ($\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$) applied to coniferous forest litter. On the basis of the regressive equation the influence of the concentration of system components, mass of the coating and drying time of the forest litter covered with the composition under analysis on its fire-retardant properties were studied. The relationship between the fire-retardant action, gel-forming system consumption rate and drying time of the forest litter covered was considered.

Keywords: forest fires suppression, surface forest fires, coniferous forest litter, gel-forming systems, separate-successive application, chemical firebreaks.

Постановка проблеми. У зв'язку з глобальним потеплінням проблема пожеж в екосистемах стає особливо актуальною. Малосніжні зими і посушливі періоди влітку стають причиною зменшення ґрунтових вод, пересихання ґрунтів і лісових горючих матеріалів. Це, у свою чергу, спричиняє збільшення лісових пожеж, а отже, питання пошуку ефективних методів гасіння лісових пожеж потребує подальшої розробки. Постійний інтерес до цієї проблеми також визначається значними економічними та екологічними втратами, від яких потерпають регіони, де виникає пожежа, а також загрозою, яку створюють лісові пожежі для здоров'я і життя людей.

За даними Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту ДСНС України у 2016 р. було зареєстровано 945 випадків лісових пожеж на площі 1101 га, у тому числі верхових – 141 га. З 2016 р., як і в попередні роки, на пожежну ситуацію значно вплинуло проведення бойових дій (АТО) в Луганській області. У цьому регіоні виникла 91 лісова пожежа на площі 485,3 га, верхових із них – на 103 га. Своєчасно ліквідувати ці пожежі було неможливо через заборону в'їзду пожежних машин лісгоспів у лісові масиви [1].

Найбільш поширеним способом гасіння лісової пожежі високої інтенсивності є створення загороджувальних або мінералізованих смуг, відпалу, запущеного від опорної смуги, яка може бути створена за допомогою засипання ґрунтом або розчинами хімікатів. Опорна смуга прокладається на відстані не менше ніж 80 м від фронту пожежі. У тилу лісової пожежі і на флангах, як правило, створюється загороджувальна мінералізована смуга без етапу відпалу [3].

Основним показником ефективності опорних і загороджувальних смуг є час вогнезахисної дії. Важливу роль при цьому відіграють вогнезахисні властивості вогнегасної речовини. Усе вищезазначене обумовлює актуальність розробки ефективних засобів вогнезахисту лісової підстилки для створення опорних і загороджувальних смуг.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Про необхідність розробки нових більш ефективних вогнегасних і вогнезахисних складів для гасіння лісових пожеж свідчить інтерес до цієї проблеми вітчизняних і зарубіжних учених. Для боротьби з лісовими пожежами пропону-

ють створення загороджувальних смуг водними розчинами антипіреново-антисептичної просочувальної композиції для деревини [4] і вогнезахисного засобу «АРГУСПРОФІ» [5], а також за допомогою хімічного сповільнювача горіння – хлориду магнію (бішофіту). Підвищення ефективності боротьби з лісовими пожежами пов'язують із використанням водопінних засобів пожежогасіння, застосуванням гелеутворювальних і піноутворювальних складів [2, 6], які продемонстрували високі вогнезахисні характеристики відносно лісової підстилки; використанням компресійних і твердих пін [7]. Попри значний інтерес до проблеми гасіння лісових пожеж, пошук вогнезахисних складів з оптимальним часом вогнезахисної дії залишається актуальним.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є дослідження залежності впливу питомої витрати гелеутворювальної системи (ГУС) і часу сушіння обробленої за допомогою запропонованої системи 5% $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2 + 35\% \text{CaCl}_2$ ділянки на час вогнезахисної дії відносно підстилки хвойного лісу.

Виклад основного матеріалу. Гасіння низових лісових пожеж за допомогою ГУС було розглянуто під час вивчення вогнезахисних властивостей бінарних вогнегасних систем. Так, було встановлено якісні закономірності впливу концентрацій речовин, що входять до складу ГУС, на їх вогнезахисні властивості. У результаті проведених експериментів – дійшли висновку, що ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ (5%) + CaCl_2 (35%) при роздільно-последовному нанесенні її компонентів є найбільш ефективною для гасіння хвойної лісової підстилки [6]. Також було вивчено вплив концентрації компонентів ГУС [8], маси гелеутворювальної композиції і часу сушіння шару, обробленого гелем, на час займання лісової підстилки. З урахуванням усіх даних було отримано регресійне рівняння:

$$T_g = 3,922 - 1,729x_1 + 0,762x_2 + 1,38x_3 - 0,48x_4 - 0,79x_1 \cdot x_2 - 0,603x_1 \cdot x_3 + 0,769x_1 \cdot x_4 - 0,396x_2 \cdot x_4 + 0,36x_1^2 + 0,966x_3^2 + 0,46x_4^2 \quad (1)$$

де x_1 – кодоване значення концентрації $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$;
 x_2 – кодоване значення концентрації CaCl_2 ;
 x_3 – кодоване значення питомої витрати;
 x_4 – кодоване значення часу сушіння.

Аналіз рівняння навів на висновок, що максимальний час вогнезахисної дії покриття досягається за умови таких значень факторів: $C(\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2) = 5\%$; $C(\text{CaCl}_2) = 35\%$; питома витрата = 1 г/см^2 ; час сушіння лісового горючого матеріалу (ЛГМ) = 0 хв. При цих значеннях факторів час займання (піролізу) хвойної лісової підстилки становив 30 хв за умови постійного впливу відкритого вогню на оброблену ділянку. Вогонь далі не поширювався. Таким чином, за вогнезахисними параметрами склад ГУС (CaCl_2 (35%) + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ (5%)) був визнаний оптимальним, і в подальшому ми зупинилися на вивченні вогнезахисних властивостей лише цього складу ГУС.

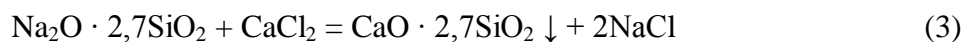
Крім комбінації компонентів ГУС на її вогнезахисні властивості впливають питома витрата і час сушіння обробленої лісової підстилки.

Питома витрата ГУС визначається із співвідношення:

$$\Phi = \frac{m}{S}, \quad (2)$$

де m – загальна маса ГУС, (г);
 S – площа поверхні, на яку наносять ГУС, (см^2).

У результаті проведеної роботи дійшли висновку, що збільшення питомої витрати ГУС покращує її вогнезахисні властивості, а збільшення часу сушіння – погіршує. Цікавим є факт поступового уповільнення зниження вогнезахисних властивостей із зростанням часу сушіння. Це можна пояснити тим, що до складу гелю входить гігроскопічна речовина – хлорид кальцію. Відповідно до стехіометричних розрахунків після протікання реакції:



у складі гелю буде міститися 16,3% CaCl_2 . Розчини CaCl_2 з такою концентрацією дуже повільно віддають воду. На підставі аналізу даних, представлених в роботі [9], можна зробити висновок, що при 25°C процес випаровування води з гелю такого складу триває більше 25 год і припиниться при досягненні концентрації CaCl_2 у ньому 26%.

Необхідність визначення часу сушіння покриття, отриманого за допомогою ГУС, яке б забезпечувало необхідний рівень вогнезахисту лісової підстилки, пов'язана, перш за все, з тим, що вогнезахисна смуга облаштовується завчасно до підходу фронту полум'я.

Наявність на лісовій підстилці великих гілок або джерел лісового горючого матеріалу (ЛГМ) збільшує час вогневого впливу на захищену ділянку підстилки через триваліше їх горіння, і може становити близько 10-20 хв. У такому випадку час вогнезахисної дії складу, нанесеного на підстилку, має перевищувати 20 хв. Для забезпечення такого часу вогнезахисного дії ми можемо варіювати питому витрату ГУС, що подається. Для вогнезахисту протягом 20 хв підходять склади з питомою витратою 0,85 г/см² та 1г/см². При цьому час сушіння ЛГМ, що був оброблений ними, не має перевищувати 15 і 45 хв відповідно. Вогнезахисну дію протягом 10 хв забезпечують усі маси складу з максимальним часом сушіння до 45 хв.

Такі результати були отримані під час експериментів з впливом додаткового джерела вогню на підстилку, оброблену складом ГУС (CaCl_2 (35%) + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ (5%)). Для перевірки отриманих даних в умовах, наближених до реальних, був проведений лабораторний експеримент, під час якого були вивчені вогнезахисні властивості ГУС (CaCl_2 (35%) + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ (5%)) при горінні самого ЛГМ, тобто без додаткового джерела вогню. Дослідження проводилися на спеціально створеній установці для вивчення ЛГМ при температурі 18-20°C, відносної вологості повітря 45%, атмосферному тиску 645 мм рт. ст. Швидкість руху вітру при проведенні експерименту становила 1 м/с.

Ширина загороджувальної смуги, згідно з додатком 6 НАПБ А.01.002-2004 Правила пожежної безпеки в лісах України, може бути від 0,3 до 9 м і залежить від виду та інтенсивності пожежі, які визначають за критеріями і характеристикам, наведеними там же [9]. З метою вивчення можливості загорання хвої за межами обробленої ділянки і переходу горіння через захищену ділянку було прийнято рішення скоротити ширину вогнезахисної смуги до 0,1 м.

Для моделювання лісової підстилки було використано суміш ЛГМ, що складалася з осадку, соснової кори, шишок і дрібних гілок. Розмір сформованої лісової підстилки – (1x0,5x0,1) м, де 1 – це довжина, 0,5 – ширина, 0,1 – товщина лісової підстилки. Завантаження становило (1250 ± 12) г/м². Підстилка була розміщена на установці типу «аеродинамічна труба» розробленій для моделювання ландшафтних пожеж з подаванням повітря різної швидкості (рис.1).

Загороджувальна смуга була створена ручними пристроями розпилення ОП-301 за допомогою послідовно-роздільного способу подання компонентів ГУС (CaCl_2 (35%) + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ (5%)) на всю товщину підстилки з різними значеннями питомої витрати, а саме – 1; 0,7; 0,85; 0,55; 0,4 г/см².

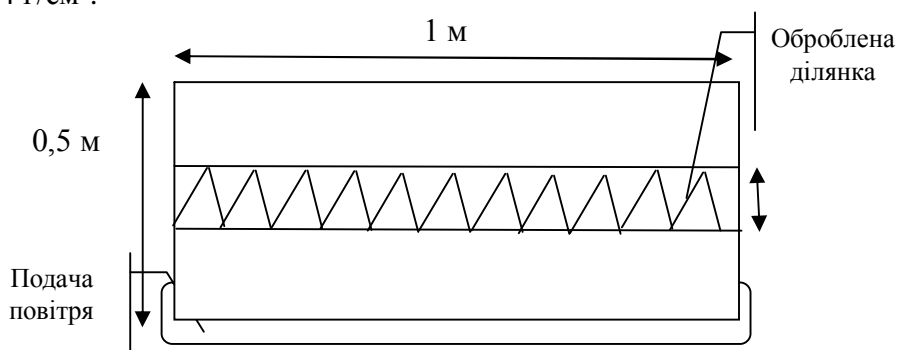


Рисунок 1 – Схема розміщення вогнезахисної смуги на установці

Розрахунок питомих витрат компонентів ГУС (М) для створення загороджувальної смуги здійснювався за формулою:

$$M = \frac{(m_1 - m_0)}{S} \quad (4)$$

де: S – площа загороджувальної смуги, (м²);

m_1 – маса компоненту ГУС у пристрої перед нанесенням, (г);

m_0 – маса компоненту ГУС у пристрої після нанесення, (г).

Підпалення ЛГМ проводилося із навітряного боку на відстані 20 см від загороджувальної смуги за допомогою деревного спирту, нанесеного на кромку підстилки. Швидкість вітру становила (1 ± 0,1) м/с. Після підпалу фіксували час вогнезахисної дії обробленої ділянки і висоту полум'я кромки пожежі.

За результатами проведеного експерименту було встановлено, що висота полум'я на кромці ділянки, обробленої ГУС, становила 10-15 см і при встановленій швидкості вітру 1 м/с перекидалася через загороджувальну смугу, але інтенсивності полум'я не вистачало для підпалу необробленої ділянки за смугою.

При усіх значеннях питомих витрат компонентів ГУС вогнезахисна смуга зберігала свої властивості, тобто вогонь не проходив углиб обробленої ділянки. Так, при наймінімальнішій питомій витраті ГУС 0,4 г/см² і часі сушіння 30 хв час вогнезахисної дії становив 17 хв до повного припинення гетерогенного горіння. При цьому фронт горіння залишився в місці зіткнення з крайкою обробленої ділянки. Таким чином, з урахуванням отриманих даних і з метою зменшення використання складу для створення вогнезахисної смуги, ГУС можна наносити таким чином: на лінії зіткнення з фронтом полум'я обробляти невелику ділянку на всю глибину ЛГМ для запобігання поширенню пожежі в шарах підстилки, а потім наносити ГУС тільки на поверхню підстилки, щоб уникнути загоряння горючих матеріалів на ній.

Висновки. При обробці лісової підстилки ГУС (CaCl₂ (35%) + Na₂O · 2,7SiO₂ (5%)) остання запобігає поширенню пожежі при дотриманні таких умов: питома витрата ГУС становить не менше 0,4 г/см², час сушіння може становити 60 хвилин і більше, ширина обробленої ділянки повинна бути не меншою за висоту полум'я. З метою економії, ГУС можна наносити тільки на частину загороджувальної смуги в зоні контакту з фронтом полум'я.

Список літератури:

1. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2016 р. [Електронний ресурс] / А. С. Басараб, А. С. Борисова, Н. М. Богуш, О. М. Євдін, Л. В. Калиненко, Н. О. Кимаковська, Р. В. Климась, В. В. Коваленко, Б. М. Ковалишин, Н. В. Корепанова, В. Ф. Коробкін, А. Д. Коробко, Р. І. Кравченко, Д. Я. Матвійчук, В. В. Могильниченко, С. В. Палагута, А. А. Слюсар, А. І. Фомін, В.В. Хижняк // УкрНДЦЗ, 2017. – 208 с. – Режим доступу: <http://www.dsns.gov.ua/files/2017/8/18/Analit%20dopovid/1%20stan.pdf>.

2. Савельев Д. И. Экспериментальные исследования огнепреграждающих свойств лесной подстилки, обработанной пенообразующими системами [Електронни ресурс] / Д. И. Савельев, А. А. Киреев, К. В. Жерноклев // Проблемы пожарной безопасности. – Х. : НУЦЗУ, 2016. – Вып. 40. – С. 169-173. – Режим доступа : <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol40/saveliev.pdf>.

3. Кимстач И. Ф. Пожарная тактика: учеб. пособие для пожарно-техн. училищ и нач. состава пожарной охраны / И. Ф. Кимстач, П. П. Девлишев, Н. М. Евтюшкин. – М. : Стройиздат, 1984. – 590 с.

4. Пат. 99800 Україна. Антипіреново-антисептична просочувальна композиція для деревини / О. П. Борис, М. В. Білошицький, М. І. Копильний, О. В. Корнієнко, М. В. Малаштан, власник Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, опубл. 25.06.2015.

5. ТУ У 20.5-40884080-001:2016 Просочувальна вогнебіозахисна речовина для деревини «АРГУСПРОФІ». Технічні умови

6. Савельев Д. И. Повышение эффективности использования гелеобразующих составов при борьбе с низовыми лесными пожарами [Электронный ресурс] / Д. И. Савельев, А. А. Киреев, К. В. Жерноклев // Проблемы пожарной безопасности. – Х. : НУЦЗУ, 2016. – Вып. 39. – С. 237-242. – Режим доступа : <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol39/Saveliev.pdf>.

7. Кректунов А. А. Использование компрессионной пены при тушении лесных пожаров [Электронный ресурс] / А. А. Кректунов, Е. Ю. Платонов, С. В. Торопов, А. Ф. Хабидуллин // Аграрное образование и наука. – 2015. – №1(12). – С. 154. – Режим доступа к журн.: http://aon.urgau.ru/uploads/article/pdf_attachment/246/Кректунов.pdf.

8. Савельев Д. И. Исследование огнезащитного действия гелеобразующих составов по отношению к хвойной лесной подстилке [Электронный ресурс] / Д. И. Савельев, С. Н. Бондаренко, А. А. Киреев, К. В. Жерноклев // Проблемы пожарной безопасности. – Х. : НУЦЗУ, 2017. – Вып. 41. – С. 169-173. // Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol41/savelev.pdf>

9. НАПБ А.01.002-2004 Правила пожежної безпеки у лісах України – Введ. 2005-07-24. – К: Офіційний вісник України від 06.08.2007,2005

References:

1. Basarab, A. S., Borysova A. S. et al (2017). *Analytic Report on the Condition of Anthropogenic and Natural Safety in Ukraine in 2016*. Ukrainian Research Institute of Civil Defense. Retrieved from <http://www.dns.gov.ua/files/2017/8/18/Analit%20dopovid/1%20stan.pdf> (in Ukr).

2. Saveliev, D.I., Kireiev A.A., & Zhernokiov, K.V. (2016) *Fire-Retardant Properties of Rorest Litter Treated with Foam-Forming Substances: an Experimental Study. Problemy Pozharnoi Bezopasnosti (Problems of Fire Safety)*, 40, 169-173 (in Russ).

3. Kimstach, I. F., Devlishev, P. P, & Yevtiushkin, N. M. (1984). *Fire Tactics: a Tutorial for Fire Training Schools and Fire Protection Service Administration*. Moscow: Stroizdat. (in Russ)

4. Borys, O. P., Biloshytskyi, M. V., Kopylnyi, M. I. et al (2015). *Antipyrene and Antiseptic Soaking Composition for Wood* (Patent #99800, Ukraine). Ukrainian Research Institute of Fire Safety (in Ukr).

5. *Soaking Fire and Bio Protection Substance for Wood ARGUSPROFI* (2016). Technical Conditions of Ukraine, 20.5-40884080-001 (in Ukr).

6. Saveliev, D.I., Kireiev A.A., & Zhernokiov, K.V. (2016) *Enhancing the Efficiency of Gel-Forming Fire Fighting Agents in Suppressing Ground Forest Fires. Problemy Pozharnoi Bezopasnosti (Problems of Fire Safety)*, 39, 237-242. Retrieved from <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol39/Saveliev.pdf> (in Russ).

7. Krekturnov, A. A., Platonov, Ye. Yu., Toropov, S. V., & Khabibullin, A. F. (2015). *Use of Compression Foam for Forest Fire Suppression. Agrarnoe Obrazovanie i nauka (Agricultural Education and Science)*, 1(12), 154. Retrieved from http://aon.urgau.ru/uploads/article/pdf_attachment/246/Кректунов.pdf (in Russ).

8. Saveliev, D.I., Kireiev A.A. et al (2017). The Study of Fire-Retardant Effect of Gel-Forming Fire Extinguishing Compositions on Coniferous Forest Litter. *Problemy Pozharnoi Bezopasnosti (Problems of Fire Safety)*, 41, 169-173. Retrieved from <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol41/savelev.pdf>

9. Fire Safety Rules in Forests in Ukraine (2005). *Normative Act on Fire Safety A.01.002-2004*. Kyiv: Ofitsiyni Visnyk Ukrainy.

