**УДК 614.84**

*Д.І. Савельєв, викладач, НУЦЗУ,*
*М.А. Чиркіна, к.т.н., доцент, доц. каф., НУЦЗУ*

# МОДЕЛЮВАННЯ ТУШІННЯ НИЗОВИХ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧИХ СИСТЕМ ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ХІМІЧНОЇ СМУГИ

(представлено д.т.н. Басмановим О.Є.)

Створено математичну модель створення хімічної вогнезахисної смуги і розрахунок на її підставі часу створення вогнезахисної смуги для гасіння низових лісових пожеж за допомогою гелеутворюючої системи (5 %) Na2O • 2,7SiO2 + (35 %) CaCl2 роздільно-послідовним способом нанесення компонентів.

**Ключові слова:** гасіння лісових пожеж, низові лісові пожежі, лісова підстилка, гелеобразующіе системи, роздільно-послідовна подача, вогнезахист, хімічні опорні смуги.

***Постановка проблеми***. Лісові пожежі завдають великої шкоди економіці багатьох країн. Особливо небезпечні лісові пожежі в посушливий період, коли створюються сприятливі умови для горіння сухого лісового горючого матеріалу. Це вимагає значних зусиль та засобів для їх гасіння. Наприклад, пожежі в США привели до людських жертв, де загинуло понад 70 осіб і 630 зниклих без вісті. Матеріальний збиток обчислюється десятками мільйонів доларів США. Оперативне створення загороджувальних смуг веде до зменшення шляхів розповсюдження пожежі і управління процесом його локалізації з подальшою ліквідацією.

У разі створення загороджувальних смуг час вогнезахисної дії є основним показником ефективності, при цьому основну роль відіграють вогнезахисні властивості вогнегасної речовини. Тому актуальним є вирішення проблеми розробки ефективних засобів вогнезахисту лісової підстилки для створення загороджувальних смуг.

***Аналіз останніх досліджень і публікацій***. Постійний пошук нових вогнегасних і вогнезахисних складів для гасіння лісових пожеж та способів їх подачі показує підвищений інтерес до цієї проблеми. Авторами [1] були встановлені високі оперативні вогнезахисні властивості гелеобразних складів. Також були проведені дослідження вогнезахисних характеристик ряду гелеутворюючих систем [2]. Були встановлені якісні закономірності впливу концентрацій речовин, що входять до складу ГУС, на їх вогнезахисні характеристики [3].

В результаті проведених досліджень встановлено, що ГУС 35 % $CaCl_2$ + 5 % $Na_2O$ • 2,7$SiO_2$ при роздільно-послідовному нанесенні її компонентів на лісовій горючий матеріал, виявилася найбільш ефективною для створення вогнезахисних хімічних смуг [4]. Були проведені в реальних умовах випробування ГУС, а саме: нанесення ГУС на лісову підстилку на рівному і похилому рельєфі місцевості. Отримані результати показали високі вогнезахисні властивості.

***Постановка завдання та його вирішення***. Метою роботи є розробка моделі створення хімічної вогнезахисної смуги і розрахунок на її основі часу створення вогнезахисної смуги для гасіння низових лісових пожеж за допомогою гелеутворюючих системи (5 %) $Na_2O \cdot 2{,}7SiO_2$ + (35 %) $CaCl_2$ роздільно-послідовним способом нанесення компонентів.

Для цього необхідно розробити математичну модель створення хімічної вогнезахисної смуги (ХВС) за допомогою пересувного пристрою, що забезпечує рівномірну подачу роздільно-збережених компонентів ГУС із заданими витратами, як роздільно-одночасно, так і окремо-послідовно. При цьому параметри вогнезахисної смуги встановлюються на підставі експериментальних результатів, представлених раніше в роботах авторів [5, 2, 3].

Основними параметрами вогнезахисної смуги є її ширина (h) та питома витрата вогнегасної речовини (Ф):

$$\Phi = \frac{m}{S}, \tag{1}$$

де m – маса гелю, S – площа обробленої підстілки.

На підставі результатів, що були отримані раніше в лабораторних умовах, нанесення ГУС на лісовій горючий матеріал доцільно зробити нерівномірно [6]. Смуга, яку передбачається створювати, розділяється на дві оброблені ГУС ділянки. Частина смуги шириною h1 обробляється на усю глибину підстилки з питомою витратою Ф1, що забезпечує неможливість поширення горіння в шарах лісової підстилки під поверхневим шаром гелю в разі роздільно-одночасної подачі, як це було вказано в роботі автора [7].

Обробка лісового горючого матеріалу (ЛГМ) в глиб підстилки забезпечується за рахунок роздільно-послідовної подачі компонентів ГУС. Це досягається роздільно-послідовним нанесенням компонентів ГУС за допомогою спеціальної установки. [8] Частина смуги шириною h2 створюється роздільно-одночасною подачею компонентів ГУС з питомою витратою ГУС Ф2. У цьому випадку на поверхні підстилки утворюється шар гелю, який захищає підстилку тільки від вторинних проявів горіння (іскор, теплового випромінювання та ін.) [9].

На рис. 1 показано схематичне розташування ділянок (1) ХВС з нанесенням ГУС на всю глибину лісового горючого матеріалу і ділянку (2) з обробкою ЛГМ тільки на поверхні підстилки.

Введемо наступні позначення:

Q – витрата вогнегасної сировини (ВС):

$$Q = \frac{m}{\tau}, \tag{2}$$

де τ – час подавання ВС.

На подачу компонентів ГУС накладаються умови–необхідно одночасно забезпечити питому витрата Ф1 на смузі шириною h1 і Ф2 на смузі

шириною h2. Сам вибір параметрів Ф і h здійснюється в залежності від параметрів низової пожежі [10]. Щоб рух пересувного пристрою забезпечував задані значення Ф1 і Ф2, необхідно забезпечити певні співвідношення у витратах ВС, що подається у зону 1 і 2.

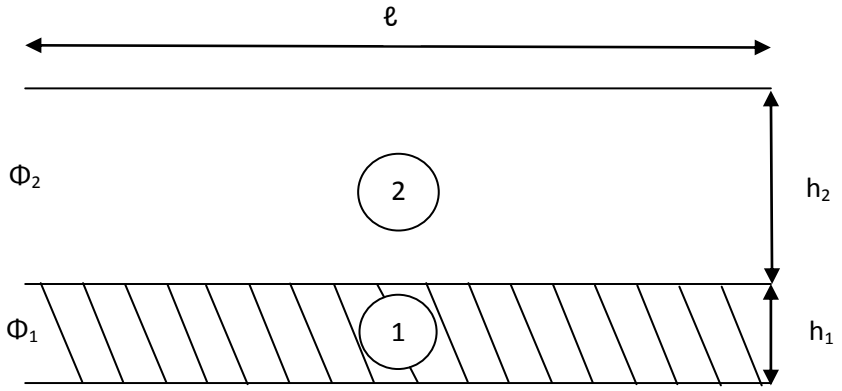


**Рис. 1. Схема що створюється ХВС за допомогою ГУС та двома ділянками: ℓ – довжина ХВС, що утворюється; $h_1$,$h_2$ – ширина ділянки вогнезахисної смуги; $Ф_1$,$Ф_2$ – питома витрата ГУС на ділянках ХВС**

Висловимо швидкість руху пристрою υ через інші параметри вогнезахисної смуги і засоби подачі:

$$m = Q \cdot \tau, \tag{3}$$

$$S = \upsilon \cdot \tau \cdot h. \tag{4}$$

Використовуючи співвідношення (1)–(4) отримаємо

$$\Phi = \frac{m}{S} = \frac{Q \cdot \tau}{S} = \frac{Q \cdot (\ell / \upsilon)}{S} = \frac{Q \cdot \ell}{S \cdot \upsilon} = \frac{Q \cdot \ell}{\ell \cdot h \cdot \upsilon}. \tag{5}$$

Із співвідношення (5) отримаємо

$$\upsilon = \frac{P}{h \cdot \Phi}. \tag{6}$$

Так як створення смуги на ділянках 1 та 2 відбувається одночасно, то швидкість руху пристрою однакові υ1 = υ 2, відповідно

$$\frac{Q_1}{h_1 \cdot \Phi_1} = \frac{Q_2}{h_2 \cdot \Phi_2}; \tag{7}$$

або

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{h_1 \cdot \Phi_1}{h_2 \cdot \Phi_2}. \tag{8}$$

Необхідно зазначити, що регулювання витрат ВС $Q_1$ і $Q_2$ може бути здійснено кількістю форсунок та тиском у систкмі подавання компонентів ГУС.

Із співвідношення (8) розрахуємо час для забезпечення заданих Ф. На підставі цього можна розрахувати час, що необхідний для обробки

вогнезахисної смуги довжиною ℓ

$$\tau = \frac{\ell}{\upsilon} = \frac{\ell \cdot h \cdot \Phi}{\mathrm{Q}}. \quad (9)$$

Розглянемо процес створення вогнезахисної смуги довжиною ℓ сильної низової лісової пожежі (швидкість руху фронтальної крайки вогню більше 3 м / хв і висотою полум'я більше 1,5 м) з висотою полум'я Н = 2м, що веде до створення протипожежного бар'єру у вигляді вогнезахисної (опорної) хімічної смуги шириною в два рази більшої висоти полум'я [11], а саме 4 м. Згідно з отриманими результатами, смуга буде прокладатися одночасно на двох ділянках роздільно-послідовним способом подачі компонентів [8] за допомогою спеціальної установки для подачі компонентів ГУС.

Для кількісних розрахунків задамося певними значеннями параметрів лісової пожежі і створюваної вогнезахисної смуги, що була раніше отримана в результаті проведених досліджень [5, 2, 3, 6]:

Довжина вогнезахисного ділянки ℓ = 1000 м; ширина ділянки (1) h1-0,2м; ширина ділянки (2) h2-3,8м; товщина лісової підстилки 0,05 м; швидкість потоку повітря до 2 м / с; вид ДОС: ($CaCl_2$ (35 %) + $Na_2O$ • 2,7$SiO_2$ (5 %)); питома витрата ГУС Ф = 0,7г / $см^2$.

Подача компонентів складу в розпиленому вигляді здійснюється за допомогою спеціальних розпилювачів або пожежних ручних стовбурів, наприклад, РСК-50 з розпилюванням. Стовбури встановлені послідовно відносно один одного і паралельно під кожен компонент ГУС, витрата кожного стовбура дорівнює 2л / с [12].

Згідно вищевказаним даним, ділянка (1) має ширину h1, а ділянка (2) ширину h2. Раніше встановлено, що ширина обробки смуги ЛГМ, яку необхідно захистити від проходження вогню (товщина шару до 0,05 м.), є достатньою 0,2 м. Ширина ділянки (2) встановлюється відповідно до нормативних документів для створення мінералізованої смуги і включає оброблену ділянку h1. Таким чином співвідношення ширини оброблених ділянок становить: $h_1$=0,2м; $h_2$=(2хН)-$h_1$; де Н- висота полум'я.

Згідно співвідношенню (8), визначимо відношення витрат ГУС, що подається, на різних ділянках, для забезпечення вогнезахисної смуги з заданими характеристиками.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{0{,}2 \cdot 7}{3{,}8 \cdot 2} = 0{,}18. \quad (10)$$

Таким чином, виходячи зі співвідношення (10) витрата ГУС на другій ділянці більша, ніж на першій, в 0,18 раз. Визначимо витрати ГУС на двох ділянках за допомогою обраних нами форсунок (РСК-50). Розрахунок необхідно проводити з огляду на роздільну подачу компонентів системи по роздільним один від одного форсункам, таким чином кількість пристроїв, що розпилюють, повинно мати парну кількість

$$Q_1 = 2кг/с; \quad (11)$$

$$Q_2 = \frac{Q_1}{0{,}18} = 11кг/с. \quad (12)$$

Зважаючи на вказане вище, нам необхідно для створення вогнезахисної хімічної смуги (ВХС) на першій ділянці $Q_1$=4кг/с (2 стволи РСК-50) та $Q_2$=22 кг/с (11 стволів РСК-50)

Таким чином, сумарна витрата вогнегасної сировини ($Q_1$ и $Q_2$) ГУС для створення вогнезахисної смуги складає 26 кг/с.

Так як створення смуги передбачається одночасно на двох ділянках, то час створення таких смуги однаковий $\tau_1=\tau_2=\tau$.

Розрахуємо час створення вогнезахисної смуги должиною 1000 м на ділянці (1) із співвідношення (9)

$$\tau_1 = \frac{1000 \cdot 0{,}2 \cdot 7}{4} = 350(с) = 5{,}8(хв). \quad (13)$$

Очевидно, що час створення і для другої ділянки також буде дорівнювати 5,8 хв.

$$\tau_2 = \frac{1000 \cdot 3{,}8 \cdot 2}{22} = 346(с) = 5{,}8(хв). \quad (14)$$

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що для створення вогнезахисної смуги довжиною 1000м і шириною 4м за допомогою стандартних стовбурів РСК-50 розпорошеною струменем, необхідно 5,8 хвилин.

Швидкість створення такої смуги, з якої повинна рухатися платформа, розраховується за співвідношенням (6)

$$\upsilon_1 = \frac{4}{0{,}2 \cdot 7} = 2{,}85(м/с) = 10{,}2(км/год). \quad (15)$$

Визначимо загальну масу вогнегасної речовини для 1000 м вогнезахисної смуги за формулою (3)

$$m = Q \cdot \tau = 26 \cdot 350 = 9100кг. \quad (16)$$

Для створення ХВС необхідно мати 9100 кг загального запасу розчинів компонентів ГУС, а саме 4550 кг (5% $Na_2O \cdot 2{,}7SiO_2$) та (35% $CaCl_2$).

Так як компоненти ГУС використовуються в різних концентраціях і основну масу становить вода, то перерахуємо розчини компонентів на масу сухої речовини складу, що використовується. Так сухої речовини в розчині (5% $Na_2O \cdot 2{,}7SiO_2$)–227,5 кг, а (35% $CaCl_2$) – 1592,5 кг, загальною масою 1820 кг сухої речовини компонентів ГУС , тому, відповідно, води необхідно 7280 кг.

З огляду на той факт, що для тушіння лісових пожеж лісогосподарські служби використовують автомобілі високої прохідності, такі як АЦ-40 (131) 137А, ємність цистерни з водою яких становить не менше 2400л

і номінальною подачею насоса 40 л / с [13], то тому необхідна кількість автомобілів даного типу є в кількості чотирьох штук.

Необхідний запас водних розчинів речовин не менше 4550кг (5% Na2O • 2,7SiO2) і 4550 кг (35% CaCl2). Подача складу ГУС здійснюється через середні пожежні автомобілі високої прохідності АЦ-40 (131) 137А в кількості 4 штук на 13 стовбурів РСК-50 із загальним питомим витратою ОВ 26 кг / с. Час створення хімічної вогнезахисної смуги становить 5,8 хвилин при швидкості руху системи 10,2 км / год.

***Висновки.*** Таким чином, була запропонована математична модель для розрахунку часу створення вогнезахисної смуги. На прикладі смуги в 1000м роздільно-послідовним способом подачі компонентів гелеутворюючого системи показаний необхідний запас водних розчинів речовин. На підставі отриманих результатів показано розрахунок сил і засобів задіяних для гасіння пожежі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сумцов Ю.А. Использование гелеобразующих составов для борьбы с низовыми лесными пожарами / Ю.А. Сумцов, А.А. Киреев, К.В. Жерноклев // Проблемы пожарной безопасности. – 2007. – Вып. 22. – С. 175-179.

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

3. 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. Жерноклёв // Проблемы пожарной безопасности. – Х. : НУЦЗУ, 2016. – Вып. 41. – С. 169-173. // Режим доступа: http://nuczu.edu.ua/ sciencearchive/roblemsOfFireSafety/vol41/savelev.pdf

4. Saveliev D.I. Influence of consumption rate and drying time of gel-forming systems on thier fire retardant properties when applied to coniferous forest litter / D.I. Saveliev // Проблемы пожарной безопасности. – Х. : НУЦЗУ, 2017. – Вып. 42. – С. 115-120. // Режим доступа: http://nuczu.edu.ua/ sciencearchive/ ProblemsOfFireSafety/ vol42/savelev.pdf

5. Савельев Д. И. Экспериментальные исследования огнепреграждающих свойств лесной подстилки, обработанной пенообразующими системами [Электронный 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

6. Савельєв Д.І. Дослідження вогнезахисної дії гелеутворювального складу на хвойній лісовій підстильці в лабораторних умовах / Д.І.Савельєв, М.О.Чіркіна // Пожежна безпека. – Л. : ЛДУБЖ, 2017. – Вип. 31. – С. 110-114 // Режим доступа: https://journal.ldubgd.edu.ua/ index.php/PB/article/view/112

7. Киреев А.А. Использование гелеобразующих составов – для борьбы с лесными пожарами /А.А. Киреев, Ю.А. Сумцов, А.В. Александров // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – Вып. 23. – С. 180-185.

8. Пат. 120982 Україна, МПК (2006.01) A62C 3/02. Спосіб гасіння низових лісових пожеж за допомогою бінарних гелеутворюючих систем / Кірєєв О.О., Савельєв Д.І., Трегубов Д.Г., Онацька А.О.; Заявник та потентовласник Національний університет цивільного захитсту України.– № u 2017 05311, заяв. 30.05.2017, опубл. 27.11.2017, бюл.№ 22

9. Пат. 60882 Україна, МПК 7A62C 1/00. Спосіб гасіння пожежі та склад для його здійсненя. / Борисов П.Ф., Росоха В.О., Абрамов Ю.О, Кірєєв О.О., Бабенко О.В.; Заявник та потентовласник Академія пожежної безпеки України.–№ 2003032600, заяв. 25.03.2003, опубл. 15.10.2003, бюл.№ 10.

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

11. Наказ МВС України 13.04.2017 № 311 «Про затвердження Порядку організації та застосування авіаційних сил та засобів для гасіння лісових пожеж», зареєстрований в Міністерстві юстиції України 13 травня 2017 р. за № 595/30463.

12. ДСТУ 2112-92 (ГОСТ 9923-93 Стволи пожежні ручні. Технічні умови. Держстандарт україни, Київ УДК 614.843.4: 006.354 Група Г 88, чинний від 01.01.94.

13. Ларін О.М. Пожежні машини: навчальний посібник. / О.М. Ларін, В.Г. Баркалов, С.А. Виноградов, А.Я. Калиновський, О.М. Семків. – Х.: НУЦЗУ, К.: МПБП «Гордон», 2016. – 279 с.

*Отримано редколегією 12.03.2019*

Д.И. Савельев, М.А.Чиркина

**Моделирование тушения низовых лесных пожаров с помощью гелеобразующих систем путем образования огнезащитной химической полосы**

Создана математическая модель создания химической огнезащитной полосы и расчет на ее основании времени создания огнезащитной полосы для тушении низовых лесных пожаров с помощью гелеобразующей системы (5%) $Na_2O \cdot 2{,}7SiO_2$+(35%) $CaCl_2$ раздельно-последовательным способом нанесения компонентов.

**Ключевые слова:** тушение лесных пожаров, низовые лесные пожары, лесная подстилка, гелеобразующие системы, раздельно-последовательная подача, огнезащита, химические опорные полосы.

D. Saveliev, M. Chyrkina

**Modeling the Process of Forest Fire Suppression by Creating Chemical Firebreaks with the Help of Gel-Forming Systems**

The article focuses on creating chemical firebreaks by means of gel-forming systems. The mathematical model of creating such firebreaks was developed. The latter was used for calculating the time needed for creating a chemical firebreak by applying the components of the gel-forming system (5 %) $Na_2O \cdot 2{,}7\ SiO_2$ + (35 %) $CaCl_2$ separately and successively.

**Keywords:** firest fire suppression, ground forest fires, forest litter, gel-forming system, separate and successive application, fire protection, chemical firebreaks.