

УДК 614.84

Д.І. САВЕЛЬЄВ

МОДЕЛЮВАННЯ ГАСІННЯ НИЗОВОЇ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧОГО СИСТЕМ ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ХІМІЧНОЇ СМУГИ

Національний університет цивільного захисту України

Розроблено 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%) $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2 + (35\%) \text{CaCl}_2$ роздільно-послідовним способом нанесення компонентів на основі попередніх робіт автора. Запропоновано дворівневий спосіб створення вогнезахисної смуги для гасіння низової пожежі високої сили. За результатами математичної моделі розраховано практичне створення вогнезахисної смуги довжиною 1000 м. Запропоновано практичну реалізацію створення протипожежної смуги та встановлено час її створення та загальні витрати робочих розчинів компонентів гелеутворюючої системи. Наведені сили та засоби, які необхідні під час ліквідації лісової пожежі зазначеним способом. Математично доведено практичне значення роботи, що підтверджується натурними випробуваннями. Ключові слова: гасіння лісових пожеж, низові лісові пожежі, лісова підстилка, гелеутворюючі системи, роздільно-послідовна подача, вогнезахист, хімічні опорні смуги.

Вступ. Лісові пожежі завдають великої шкоди економікам багатьох держав. Особливо небезпечні лісові пожежі в посушливий період, коли створюються сприятливі умови для горіння сухого лісового горючого матеріалу, для чого вимагає значних зусиль і засоби для їх гасіння. 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 вогнезахисного 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.

Раніше були встановлені високі оперативні вогнезахисні властивості гелеобразних складів [1]. 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 експериментів встановлено, що ГУС $35\% \text{CaCl}_2 + 5\% \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ при роздільно-послідовному нанесенні її компонентів на лісовій горючий матеріал, виявилася найбільш ефективною, для створення вогнезахисних хімічних смуг. [4]. Проведено натурні випробування ГОС, нанесеного на лісову підстилку на рівному і похилому рельєфі місцевості, де показали високі вогнезахисні властивості.

Мета дослідження. Метою роботи є розробка моделі створення хімічної вогнезахисної смуги і розрахунок на її підставі часу створення вогнезахисної смуги для гасіння низових лісових пожеж за допомогою гелеутворюючої системи (5%) $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2 + (35\%) \text{CaCl}_2$ роздільно-послідовним способом нанесення компонентів.

Матеріали й методи. Для досягнення поставленої мети 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) і питома витрата вогнегасної речовини (Ф):

$$\Phi = \frac{m}{S} \quad (1)$$

де m - маса гелю;
 S - площа обробленої підстилки.

На підставі раніше отриманих в лабораторних умовах результатів нанесення ГУС на лісовій горючий матеріал доцільно зробити нерівномірно [6]. Смуга яку передбачається створювати розділяється на два оброблених ГУС ділянки. Частина смуги шириною h_1 обробляється на всю глибину підстилки з питомою витратою Φ_1 забезпечує неможливість поширення горіння в шарах лісової підстилки, під поверхневим шаром гелю в разі роздільно-одночасної подачі як в роботі автора [7] Обробка ЛГМ в глиб підстилки забезпечується за рахунок роздільно-послідовної подачею компонентів ГУС. Це досягається роздільно-послідовним нанесенням компонентів ГУС з допомогу спеціальної установки. [8] Частина смуги шириною h_2 створюється роздільно одночасної подачі компонентів ГУС з питомою витратою ГУС Φ_2 . У цьому випадку на поверхні підстилки утворюється шар гелю, який захищає підстилку тільки від вторинних проявів горіння (іскор, теплового випромінювання та ін.) [9]

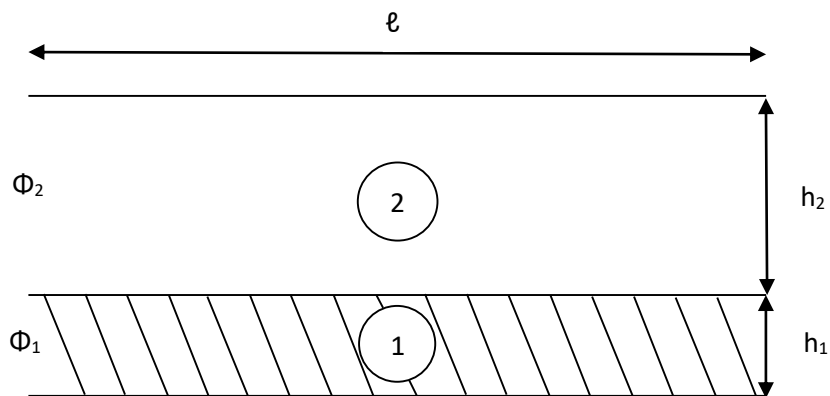


Рис. 1. Схема створюваної ХОП за допомогою ДОС і двома ділянками: ℓ - довжина створюваної ХОП; h_1, h_2 - ширина ділянки вогнезахисної смуги; Φ_1, Φ_2 - питома витрата ГУС на ділянках ХОП.

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

Ведемо наступні позначення:

Q - витрата вогнегасної речовини (ВР):

$$Q = \frac{m}{\tau} \quad (2)$$

, де τ - час подачі ВР.

На подачу компонентів ГУС накладається умови - необхідно одночасно забезпечити питома витрата Φ_1 на смугі шириною h_1 і Φ_2 на смугі шириною h_2 . Сам вибір параметрів Φ і h здійснюється в залежності від параметрів низової пожежі [10]

Щоб рух пересувного пристрою забезпечувало задані значення Φ_1 і Φ_2 необхідно забезпечити певні співвідношення у витратах ВР подається зону 1 і 2.

Розрахуємо швидкість руху пристрою U через інші параметри вогнезахисної смуги і засоби подачі:

$$m = Q \cdot \tau \quad (3)$$

$$S = v \cdot \tau \cdot h \quad (4)$$

Використовуючи співвідношення 1-4 отримаємо

$$\Phi = \frac{m}{S} = \frac{Q \cdot \tau}{S} = \frac{Q \cdot (\ell/v)}{S} = \frac{Q \cdot \ell}{S \cdot v} = \frac{Q \cdot \ell}{\ell \cdot h \cdot v}; \quad (5)$$

Зі співвідношення (5) отримаємо

$$v = \frac{Q}{h \cdot \Phi}; \quad (6)$$

Так як створення смуги на ділянках 1 і 2 відбувається одночасно то швидкість руху пристрою однакові $U_1 = U_2$, отже:

$$\frac{Q_1}{h_1 \cdot \Phi_1} = \frac{Q_2}{h_2 \cdot \Phi_2}; \quad (7)$$

але

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{h_1 \cdot \Phi_1}{h_2 \cdot \Phi_2}; \quad (8)$$

Тут необхідно зазначити, що регулювання витрат ВР Q_1 і Q_2 може бути здійснено кількістю форсунок і тиску в системі подачі компонентів ГУС.

З відносини (8) розрахуємо час необхідний для забезпечення заданих Φ . На підставі цього можна розрахувати час, необхідний для обробки вогнезахисною смуги довжиною ℓ :

$$\tau = \frac{\ell}{v} = \frac{\ell \cdot h \cdot \Phi}{Q}; \quad (9)$$

Результати та обговорення. Розглянемо процес створення вогнезахисної смуги довжиною ℓ сильного низової лісової пожежі (швидкість руху фронтальної крайки вогню більше 3 м / хв і висотою полум'я більше 1,5 м) з висотою полум'я $H = 2$ м, 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 п дачі компонентів ДОС.

Для кількісних розрахунків завдаємо певними значеннями параметрів лісової пожежі і створюваної вогнезахисної смуги раніше отримані в результаті проведених експериментів [5, 2, 3, 6]:

Довжина вогнезахисної ділянки $\ell = 1000$ м
Ширина ділянки (1) $h_1 = 0,2$ м
Ширина ділянки (2) $h_2 = 3,8$ м
Товщина лісової підстилки $0,05$ м
Швидкість потоку повітря до 2 м / с
Вид ДОС: $(CaCl_2 (35\%) + Na_2O \cdot 2,7SiO_2 (5\%))$
Питома витрата ГОС $\Phi = 0,7$ г / см²

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 ДОС, витрата кожного стовбура дорівнює 2 л / с [12].

Згідно вищевказаним даними ділянку (1) має ширину h_1 , а ділянку (2) ширину h_2 . Раніше встановлено, що ширина обробки смуги ЛГМ яку необхідно захистити від проходження вогню (товщина шару до $0,05$ м.) Досить $0,2$ м. Ширина ділянки (2) встановлюється відповідно до нормативних документів для створення мінералізованої смуги і включає оброблену ділянку h_1 . Таким чином співвідношення ширини оброблених ділянок становить:

$h_1 = 0,2$ м
 $h_2 = (2 \times H) - h_1$
де H - висота полум'я

Згідно співвідношенню (8) визначимо відношення витрат подається ГОС 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 ГОС на другій ділянці більше ніж на першому в $0,18$ раз. Визначимо витрати ГОС 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 форсунках, таким чином кількість пристроїв, що розпилюють повинно мати парне кількість.

$$Q_1 = 2 \text{ кг / с}; \quad (11)$$

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

Виходячи із зазначеного вище, нам необхідно для створення вогнезахисної хімічної смуги (ОХП) на першій ділянці $Q_1 = 4$ кг / с (2 ствола РСК-50) і $Q_2 = 22$ кг / с (11 стовбурів РСК-50)

Таким образом сумарний витрата вогнегасної речовини (Q_1 і Q_2) ГОС для створення вогнезахисної смуги становить 26 кг / с.

Так як створення смуги передбачається одночасне на двох ділянках той час створення таких смуги однаково $\tau_1 = \tau_2 = \tau$.

Обчислимо час створення вогнезахисної смуги довжиною 1000м на ділянці (1) зі співвідношення (9)

$$\tau_1 = \frac{1000 \cdot 0,2 \cdot 7}{4} = 350(c) = 5,8(\text{мин}) \quad (13)$$

Очевидно, що час створення і для другої ділянки, так само дорівнюватиме 5,8 хв.

$$\tau_2 = \frac{1000 \cdot 3,8 \cdot 2}{22} = 346(c) = 5,8(\text{мин}); \quad (14)$$

Таким чином ми отримали результат, що для створення вогнезахисної смуги довжиною 1000м і шириною 4м за допомогою стандартних стовбурів РСК-50 розпорошеною струменем нам знадобиться 5,8 хвилин.

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

$$v_1 = \frac{4}{0,2 \cdot 7} = 2,85(\text{м/с}) = 10,2(\text{км/час}); \quad (15)$$

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

$$m = Q \cdot \tau = 26 \cdot 350 = 9100\text{кг} \quad (16)$$

Для створення ХОП нам необхідно мати 9100кг загального запасу розчинів компонентів ДОС, а саме 4550кг (5% $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$) і (35% CaCl_2).

Так як компоненти ГОС використовуються в різних концентраціях і основну масу становить вода, то перерахуємо розчини компонентів на масу сухої речовини використовуюваного складу. Так сухої речовини в розчині (5% $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$) - 227,5 кг, а (35% CaCl_2) - 1592,5 кг, загальною масою 1820 кг сухої речовини компонентів ГУС. Відповідно води необхідно 7280 кг.

З огляду на той факт, що для таких 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 необхідно автомобілів даного типу в кількості чотирьох штук.

Необхідний запас водних розчинів речовин не менше 4550кг (5% $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$) і 4550 кг (35% CaCl_2). 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 запропонована математична модель для расцета часу створення вогнезахисної смуги. На прикладі смуги в 1000м роздільно-послідовним способом подачі компонентів гелеутворюючої системи показаний необхідний запас водних розчинів речовин. На підставі отриманих результатів показано розрахунок сил і засобів задіяних для гасіння пожежі.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

1. Sumtsov, Yu. A. 2007 Ispolzovanie geleobrazuyuschikh sostavov dlya borby s nizovymi lesnymi pozharami [Using Gel-Forming Compositions for Ground Forest Fires Suppressions]. Problemy Pozharnoy Bezopasnosti [Fire Safety Issues], 22: 175–179 (in Russian).
2. Saveliev, D. I. 2016 Povyshenie effektivnosti geleobrazuyuschikh sostavov pri borbe s nizovymi lesnymi pozharami [Increasing the Effectiveness of Gel-Forming Compositions for Ground Forest Fires Suppression]. Problemy Pozharnoy Bezopasnosti [Fire Safety Issues], 392: 237–242 (in Russian).
3. Saveliev, D. I. 2016 Issledovanie ognemaschitnogo deystviya geleobrazuyuschikh sostavov po otnosheniyu k khvoynoy lesnoy podstilke [The Study of Fire-Retardant Properties of Gel-Forming Compositions Applied to Coniferous Forest Litter]. Problemy Pozharnoy Bezopasnosti [Fire Safety Issues], 41: 165–173 (in Russian).
4. Saveliev, D. I. 2017 The Influence of the Consumption Rate and Drying Time of Gel-Forming Systems on their Fire Retardant Properties when Applied to Coniferous Forest Litter. Problemy Pozharnoy Bezopasnosti [Fire Safety Issues], 42: 115–120 (in English).
5. Saveliev, D. I. 2016 Eksperimentalnye issledovaniya ognepregrazhdayuschikh svoystv lesnoy podstilki, obrabotannoy penoobrazuyuschimi sistemami [Fire-Retardant Properties of Forest Litter Covered with Foam-Forming Systems: an Experimental Study]. Problemy Pozharnoy Bezopasnosti [Fire Safety Issues], 40: 169–173 (in Russian).
6. Saveliev, D. I. 2017 Doslidzhennia vohnezakhysnoii dii geleutvoriuvalnogo skladu na khvoynii lisoviy pidstyltsi v laboratornykh umovakh [Fire-Retardant Action of Gel-Forming Composition Applied to Coniferous Forest Litter: A Laboratory Study]. Pozhezhna bezpeka [Fire Safety], 31: 110-114 (in Ukrainian).
7. Kireiev, A. A. 2008 Ispolzovaniye geleobrazuyuschikh sostavov dlya borby s lesnymi pozharami [Using Gel-Forming Compositions for Forest Fire Suppression]. Problemy Pozharnoy Bezopasnosti [Fire Safety Issues], 23: 180–185 (in Russian).
8. Kireiev, A.A., Saveliev, D.I., Trehubov, D.H., Onatska A.O. 2017 Patent 120982 Ukraina, MPK (2006.01) A62C 3/02 [Patent 120982 Ukraine, MPK (2006.01) A62C 3/02]. Sposib hasinnia nyzovykh lisovykh pozhezh za dopomohoiu binarnykh heleutvoriuichykh system [Method of Ground Forest Fire Suppression by Means of Binary Gel-Forming Systems]. Natsionalnyi universytet tsyvilnoho zakhystu Ukrainy [National University of Civil Defence of Ukraine], № u 2017 05311, applied for on 30.05.2017, published on 27.11.2017, bulletin № 22.
9. Borysov, P.F., Rosokha, V.O., Abramov, Yu.O., Kireiev, O.O., Babenko, O.V. Patent 60882 Ukraina, MPK 7A62C 1/00 Sposib hasinnia pozhezhi ta sklad dlia yoho zdiysnennia [Method of Fire Suppression and Composition for its Implementation]. Akademiia pozhezhoi bezpeky Ukrainy [Academy of Fire Safety of Ukraine], № 2003032600, applied for on 25.03.2003, published on 15.10.2003, bulletin № 10.
10. NAPB A.01.002-2004 Pravyla pozhezhoi bezpeky u lisakh Ukrainy – Vved. 2005-07-24 [NAFS A.01.002-2004 Rules on Fire Safety in Forests of Ukraine. Introduction 2005-07-04]. Kyiv, Ofitsiynyi Visnyk Ukrainy [Official Journal of Ukraine], issued on 6.08.2007, 2005.
11. Pro zatverdzhennia Poriadku organizatsii ta zastosuvannia aviatsiynykh syl ta zasobiv dlia hasinnia lisovykh pozhezh [On Organization and Use of Aviation for Forest Fire Suppression]. 2017. Nakaz Ministerstva vnutrishnikh sprav Ukrainy vid 13.04.2017 [Order of the Ministry of Internal Affairs, from 13.04.2017, # № 595/30463.

12. Stvoly pozhezhni ruchni. Tekhnichni umovy. Derzhavnyi Standart Ukrainy, DSTU 2112-92 (HOST 9923-93), [Manual Fire-hose Barrels. Technical Conditions. State Standard of Ukraine, DSTC 2112-92 (SS 9923-93)], Kyiv. In force since 01.01.1994.

13. Larin, O. M. et. al (2016) Pozhezhni mashyni: navchalnyi posibnyk [Fire Trucks: A Textbook]. Kharkiv : NUTsZU, Kyiv: MPBP Hordon, 279 p. (in Ukrainian)

SAVELIEV D.I.

MODELING GROUND FOREST FIRE SUPPRESSION WITH THE HELP OF GEL-FORMING SYSTEMS BY CREATING CHEMICAL FIRE BREAKS

National University of Civil Defence of Ukraine

A mathematical model for creating a chemical fire break was designed. With regard to this model the time required to make a fire break for ground forest fire suppression by means of gel-forming system (5%) $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ + (35%) CaCl_2 applied separately and successively was calculated. A specific two-layer method of creating a fire break was suggested which will be particularly successful for dealing with forest fires of high intensity. Based on the mathematical model worked out the practical aspects of creating a one-thousand-meter fire break using the gel-forming system $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ + (35%) CaCl_2 were described, namely the time required and the consumption rates of the gel-forming system components. The forces and means involved in forest fire suppression with the help of the gel-forming system under consideration were determined. The practical significance of the research carried out was confirmed by a series of field experiments.

Keywords: forest fire suppression, ground forest fires, forest litter, gel-forming systems, separate and successive feed, fire protection, chemical fire breaks.

САВЕЛЬЕВ Д.И.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУШЕНИЯ НИЗОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА С ПОМОЩЬЮ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПОЛОС

Национальный университет гражданской защиты Украины

Разработана математическая модель создания химической огнезащитной полосы и расчет на ее основании времени создания огнезащитной полосы для тушения низовых лесных пожаров путем применения гелеобразующей системы системы (5%) $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ + (35%) CaCl_2 раздельно-последовательным способом нанесения компонентов. Предложено двухуровневый способ создания огнезащитной полосы для тушения низового пожара высокой силы. По результатам математической модели рассчитано практическое создание огнезащитной полосы длиной 1000 м. Предложено практическая реализации создания противопожарной полосы и установлено время ее создания с общим расходу рабочих растворов компонентов гелеобразующих системы. Приведенные силы и средства, которые необходимы при ликвидации лесного пожара указанным способом. Математически доказано практическое значение работы, которое подтверждается натурными испытаниями.

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