УДК 614.84

Д.И. Савельев, адъюнкт

(Національний університет цивільного захисту України)

ИЗУЧЕНИЕ ОГНЕЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ГЕЛЕООБРАЗУЮЩЕГО СОСТАВА НА ХВОЙНОЙ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКЕ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Проанализированы результаты экспериментальных исследований огнезащитного действия гелеобразующей системы ($CaCl_2$+Na_2O·2,7SiO_2) по отношению к хвойной лесной подстилке. На основе полученного регрессионного уравнения изучено влияние концентрации компонентов системы, массы нанесенного покрытия и времени сушки обработанного лесного горючего материала на время её огнезащитного действия. Рассмотрена зависимость времени огнезащитного действия от удельного расхода ГОС и времени сушки обработанного участка лесной подстилки.

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

D.I. Saveliev

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 ($CaCl_2$ + Na_2O·2,7SiO_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.

Д.І.Савельєв

ВИВЧЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ДІЇ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧОГО СКЛАДУ НА ХВОЙНІЙ ЛІСОВІЙ ПІДСТИЛЦІ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

Проаналізовані результати експериментальних досліджень вогнезахисної дії гелеутворюючої системи ($CaCl_2$+Na_2O·2,7SiO_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 ДЕРЖ і часу сушки обробленої ділянки лісової підстилки.

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

Постановка проблемы. В связи с глобальным потеплением проблема пожаров в экосистемах становится особо актуальной. Малоснежные зимы и засушливое периоды летом становятся причиной уменьшения грунтовых вод, пересыхания почв и лесных горючих материалов, что в свою очередь приводит к увеличению лесных пожаров. В связи с этим вопрос поиска эффективных методов тушения лесных требует дальнейшей разработки. Постоянный интерес к этой проблеме так же определяется значительным экономическим и экологическим ущербом, наносимым регионам, где возникает пожар, а также угрозой, которую несут лесные пожары для здоровья и жизни людей.

По данным Украинского научно-исследовательского института гражданской защиты ДСНС Украины в 2016 г. было зарегистрировано 945 случаев лесных пожаров на площади 1101 га, в том числе верховых – на 141 га. В 2016 г., как и в предыдущие годы, на пожарную ситуацию значительно повлияло проведение боевых действий (АТО) в Луганской области. В этом регионе возник 91 лесной пожар на площади 485,3 га, в том числе верховых пожаров – на 103 га. Своевременно ликвидировать эти пожары было невозможно из-за запрета въезда пожарных машин лесхозов в лесные массивы [1].

Наиболее распространенным способом тушения лесного пожара высокой интенсивности является создание заградительных или минирализованных полос, отжига, запущенного от опорной полосы, которая может быть создана с помощью засыпки грунтом либо растворами химикатов. Опорная полоса прокладывается на расстоянии не менее 80 м от фронта. В тылу лесного пожара и на флангах, как правило, создается заградительная минерализованная полоса без этапа отжига [3].

Основным показателем эффективности опорных и заградительных полос является время огнезащитного действия. Важную роль при этом имеют огнезащитные свойства огнетушащего вещества. Все вышесказанное обуславливает актуальность разработки эффективных средств огнезащиты лесной подстилки для создания опорных и заградительных полос.

Анализ последних исследований и публикаций. О необходимости разработки новых более эффективных огнетушащих и огнезащитных составов для тушения лесных пожаров свидетельствует интерес к данной проблеме отечественных и зарубежных ученых. Для борьбы с лесными пожарами предлагается создание заградительных полос водными растворами антипиреново-антисептической пропиточной композиции для древесины [4] и огнезащитного средства «АРГУСПРОФИ» [5], с помощью химического замедлителя горения – хлорида магния (бишофита). Повышение эффективности борьбы с лесными пожарами связывают с использованием водо-пенных средств пожаротушения, применением гелеобразующих и пенообразующих составов [2, 6] которые показали высокие огнезащитные

характеристики по отношению к лесной подстилки; использованием компрессионных и твердеющих пен [7]. Несмотря на значительный интерес к проблеме тушения лесных пожаров, поиск огнезащитных составов с оптимальным временем огнезащитного действия остаются актуальными.

Формулировка целей статьи. Целью работы является исследование зависимости влияния удельного расхода гелеобразующей системы (ГОС) и времени сушки обработанного с помощью предложенной системы 5% $Na_2O{\cdot}2{,}7SiO_2$+ 35% $CaCl_2$ участка на время огнезащитного действия по отношению к подстилке хвойного леса.

Изложение основного материала исследования. Тушение низовых лесных пожаров с помощью ГОС было изучено в ходе изучения огнезащитных свойств бинарных огнетушащих систем. Так, были установлены качественные закономерности влияния концентраций веществ, входящих в состав ГОС, на их огнезащитные характеристики. В результате проведенных экспериментов был сделан вывод о том, что ГОС $Na_2O{\cdot}2{,}7SiO_2$ (5%) + $CaCl_2$ (35%) при раздельно-последовательном нанесении её компонентов является наиболее эффективной для тушения хвойной лесной подстилки [6].

Также было изучено влияние концентрации компонентов ГОС [8], массы гелеобразующей композиции и времени сушки слоя, обработанного гелем, на время воспламенения лесной подстилки. В результате было получено регрессионное уравнение:

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

где x_1 – кодированное значение концентрации $Na_2O{\cdot}2{,}7SiO_2$;

x_2 – кодированное значение концентрации $CaCl_2$;

x_3 – кодированное значение удельного расхода;

x_4 – кодированное значение времени сушки.

Анализ уравнения позволил сделать выводы о том, что максимальное время огнезащитного действия покрытия достигается при следующих значениях факторов: $C(Na_2O{\cdot}2{,}7SiO_2)$ = 5%; $C(CaCl_2)$ = 35%; удельный расход = 1 г/см^2; время сушки лесного горючего материала (ЛГМ) = 0 мин. При этих значениях факторов время воспламенения (пиролиза) хвойной лесной подстилки составило 30 мин при постоянном воздействии открытого огня на обработанный участок. Огонь далее не распространялся. Таким образом, по огнезащитным параметрам состав ГОС ($CaCl_2$(35%) + $Na_2O{\cdot}2{,}7SiO_2$(5%)) был признан

оптимальным, и в дальнейшем мы остановились на изучении огнезащитных свойств только этого состава ГОС.

Кроме комбинации компонентов в составе ГОС на ее огнезащитные свойства влияют удельный расход и время сушки обработанной лесной подстилки.

Удельный расход ГОС определяется по соотношению:

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

где m – общая масса ГОС, (г);

S – площадь поверхности на которую наносится ГОС, (см^2).

В результате проведенной работы, был сделан вывод о том, что увеличение удельного расхода ГОС приводит к увеличению ее огнезащитных свойств, а увеличение времени сушки к их уменьшению. Интересным является факт постепенного замедления снижения огнезащитных свойств с ростом времени сушки. Это можно объяснить тем, что в состав геля входит гигроскопическое вещество – хлорид кальция. Как показывают стехиометрические расчеты, после протекания реакции:

$$Na_2O \cdot 2{,}7SiO_2 + CaCl_2 = CaO \cdot 2{,}7SiO_2\downarrow + 2NaCl \qquad (3)$$

в составе геля будет содержаться 16,3% $CaCl_2$. Растворы $CaCl_2$ с такой концентрацией очень медленно отдают воду. На основании анализа данных, представленных в работе [9], можно заключить, что при 25ºС процесс испарения воды из геля такого состава продолжается более 25 ч. и прекратится при достижении концентрации $CaCl_2$ в нем 26%.

Необходимость определения времени сушки покрытия, полученного с помощью ГОС, которое бы обеспечивало требуемый уровень огнезащиты лесной подстилки, связана, прежде всего, с тем, что огнезащитная полоса обустраивается заблаговременно до подхода фронта пламени.

В случае присутствия на лесной подстилке крупных веток или источников лесного горючего материала (ЛГМ) увеличивает время огневого воздействия на защищенный участок подстилки за счет более длительного их горения, и может составлять около 10-20 мин. В таком случае время огнезащитного действия состава, нанесенного на подстилку, должно превышать 20 мин. Для обеспечения такого времени огнезащитного действия мы можем варьировать удельный расход подаваемой ГОС. Для огнезащиты в течение 20 мин подходят составы с удельным расходом 0,85г/см^2 и 1г/см^2. При этом время сушки обработанного ЛГМ

не должно превышать 15 и 45 мин соответственно. Огнезащитное действие в течение 10 мин обеспечивают все массы состава с максимальным временем сушки до 45 мин.

Описанные выше результаты были получены в ходе экспериментов с воздействием дополнительного источника огня на подстилку, обработанную изучаемым составом. Для проверки полученных данных в условиях, приближенных к реальным, был проведен лабораторный эксперимент, в ходе которого были изучены огнезащитные свойства ГОС ($CaCl_2$(35%) + $Na_2O \cdot 2,7SiO_2$(5%)) при горения самого ЛГМ, то есть без дополнительного источника огня. Исследования проводились на специально созданной установке для изучения ЛГМ при температуре – 18-20^oC, относительной влажности воздуха – 45%, атмосферном давление – 645 мм рт. ст. Скорость движения ветра при проведении эксперимента составляла 1 м/с.

Ширина заградительной полосы согласно дополнения 6 НАПБ А.01.002-2004 Правила пожарной безопасности в лесах Украины может быть от 0,3 до 9 м и зависит от вида и интенсивности пожара, который определяется по критериям и характеристикам, приведенным там же [9]. В целях изучения возможности возгорания хвои за пределами обработанного участка и перехода горения через защищаемый участок было принято решение сократить ширину огнезащитной полосы до 0,1м.

Для моделирования лесной подстилки была использована смесь ЛГМ, состоящая из опада, сосновой коры, шишек и мелких веток. Размер сформированной лесной подстилки составил (1х0,5х0,1) м, где 1 – это длина, 0, 5 – ширина, 0,1 – толщина лесной подстилки. Загрузка составила (1250±12) г/м^2. Подстилка была размещена на специальной исследовательской установке.

Заградительная полоса была создана ручными устройствами распыления ОП-301 последовательно-раздельным способом подачи компонентов ГОС ($CaCl_2$(35%) + $Na_2O \cdot 2,7SiO_2$(5%)) на всю толщину подстилки с различными значениями удельного расхода, а именно – 1; 0,7; 0,85; 0,55; 0,4) г/см^2.

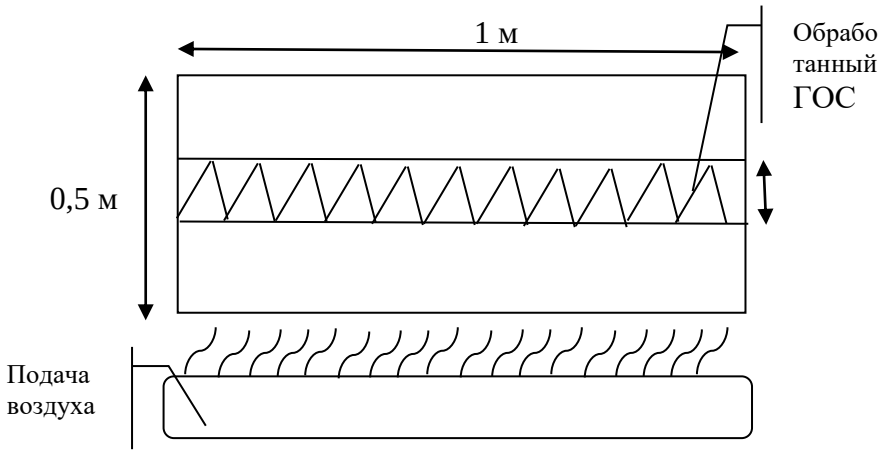

Рис. 1. Схема размещения на установке огнезащитной полосы.

Расчет удельных расходов компонентов ГОС (М) для создания заградительной полосы осуществлялся по формуле:

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

где: S – площадь заградительной полосы, ($м^2$);

m_1 – масса нанесенного компонента ГОС в устройстве перед нанесением, (г);

m_0 – масса нанесенного компонента ГОС в устройстве после нанесения, (г).

Поджег ЛГМ производился с наветренной стороны на расстоянии 20 см от заградительной полосы с помощью древесного спирта, нанесенного на кромку подстилки. Скорость ветра составляла (1±0,1) м/с. После поджога осуществлялась фиксация времени огнезащитного действия обработанного участка и высота пламени кромки пожара.

По результатам проведенного эксперимента было установлено, что высота пламени на кромке обработанного ГОС участка составляла 10-15 см и при установленном ветре 1м/с. перебрасывалась через заградительную полосу, но интенсивности пламени не хватало для поджога необработанного участка за полосой.

При всех удельных расходах компонентов ГОС огнезащитная полоса сохраняла свои свойства, то есть огонь не проходил в глубь обработанного участка. Так, при самом минимальном удельном расходе ГОС 0,4 г/$см^2$ и времени сушки 30 мин время огнезащитного действия составило 17 мин до полного прекращения гетерогенного горения. При этом фронт горения остался в месте соприкосновения с кромкой обработанного участка. Таким образом, с учетом полученных данных и с целью экономии состава для создания огнезащитной полосы ГОС можно наносить следующим образом: на линии соприкосновения с фронтом пламени обрабатывать небольшой участок на всю глубину ЛГМ для предотвращения распространения пожара в слоях подстилки, а потом наносить ГОС только на поверхность подстилки во избежание возгорания горючих материалов на ней.

Выводы. При обработке лесной подстилки ГОС ($CaCl_2$(35%) + $Na_2O{\cdot}2{,}7SiO_2$(5%)) последняя предотвращает распространение пожара при соблюдении следующих условий: удельный расход ГОС составляет не менее 0,4 г/$см^2$, время сушки может составлять 60 минут и более, ширина обработанного участка должна быть не меньше, чем высота пламени. С целью экономии ГОС только на часть заградительной полосы в зоне контакта с фронтом пламени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2016 р. [Электронный 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 // УкрНИИГЗ, 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 [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.

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. Хабибуллин // 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. Жерноклёв // Проблемы пожарной безопасности. – Х. :

НУЦЗУ, 2016. – 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.dsns.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. Probliemy 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: Stroiizdat. (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/ProblemsOfFire Safety/vol39/Saveliev.pdf (in Russ).

7. Krektunov, A. A., Platonov, Ye. Yu., Toropov, S. V., & Khabibullin, A. F. (2015). *Use of Comprassion Foam for Forest Fire Supression. Agrarnoie 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.

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