

УДК 614.84

*Ю.А. Сумцов, начальник курса НУГЗУ,
А.А. Киреев, канд. хим. наук, доцент НУГЗУ,
К.В. Жерноклёв, канд. хим. наук, ст. преподаватель НУГЗУ*

**ОЦЕНКА МАССЫ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩЕГО СОСТАВА
ДЛЯ ТУШЕНИЯ ВЕРХОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА**

(представлено д-ром хим. наук Калугиным Д.В.)

Предложена схема тушения верхового лесного пожара с использованием гелеобразующей системы $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2$ (5%) + CaCl_2 (8%). Проведена оценка массы гелеобразующего состава необходимой на тушение такого пожара. Показаны преимущества гелеобразующих составов по сравнению с традиционными методами тушения.

Ключевые слова: лесные пожары, масса огнетушащего вещества, гелеобразующие системы, огнезащитное действие.

Постановка проблемы. Процесс тушения лесных пожаров является наиболее сложным и затратным по сравнению с другими видами ландшафтных пожаров. Проблема тушения лесных пожаров, несмотря на большое внимание к ней, до сих пор далека от решения. Наиболее сложным для тушения видом лесных пожаров является верховой пожар. Верховой пожар сопровождается одновременно и низовым, а при соответствующих условиях и подземным пожаром [1-3].

При тушении верховых пожаров в большинстве случаев используется косвенный (упреждающий) метод тушения пожара. При нём линию остановки огня выбирают на некотором расстоянии от кромки пожара. Для остановки распространения пожара создают заградительную полосу, на которой создают условия невозможности процесса горения. Для остановки низового пожара, сопровождающего верховой пожар, с помощью землеройной техники создают минерализованные полосы путем прокладки канав и засыпке грунтом горючих материалов. В большинстве случаев в области заградительной полосы также необходимо провести полную вырубку и удаление хвойных пород деревьев.

Использование воды и различных химических средств недостаточно эффективно при тушении верховых лесных из-за их низкого коэффициента использования и неудовлетворительных огнезащитных свойств [4].

Из-за большого объёма работ для тушения верхового пожара необходимо привлечение больших сил и средств. Поэтому снижение трудоёмкости при тушении верховых пожаров является актуальной проблемой.

Анализ последних исследований и публикаций. Основными недостатками жидкостных огнетушащих веществ (ОВ) являются низкий коэффициент использования и незначительные оперативные огнезащитные свойства. Для устранения этого недостатка было предложено использовать гелеобразующие огнетушащие системы (ГОС) [5-6].

В работах [7,8] было показано, что при тушении лесных горючих материалов ГОС превосходят воду и водные растворы химикатов по оперативным огнезащитным свойствам и огнетушащей способности в несколько раз. Это позволяет при использовании ГОС для тушения лесных пожаров уменьшить расход ОВ. Оценки расхода ГОС для тушения верховых лесных пожаров до сих пор не было проведено.

Постановка задачи и её решение. Целью работы является оценка массы ГОС, необходимой для тушения верховых лесных пожаров. Для этого используются результаты полевых экспериментов по огнезащитным свойствам гелеобразных слоёв. В качестве ГОС, как и ранее, используется система $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,95\text{SiO}_2(5\%)+\text{CaCl}_2(8\%)$ [7,8]. Эта система обеспечивает высокие огнезащитные свойства гелевых слоёв в течение нескольких часов после обработки горючих материалов.

В работе [9] рассмотрена схема тушения верхового пожара путём полной остановки низового пожара. Такой подход основан на том, что в большинстве случаев верховой пожар не может распространяться без поддержки низового огня [10]. Нарушение такой закономерности наблюдается при сильном ветре и существенном перекрытии крон деревьев. В таком случае огонь распространяется по кронам «скачками», опережая фронт низового пожара [2-3].

Тушение верхового пожара путём полной остановки низового пожара целесообразно применять при наличии существенных разрывов между участками лесных массивов. В случае если разрывы между участками леса невелики, становится возможным воспламенение крон хвойных пород деревьев под действием теплового излучения или разлетающихся искр от горящих участков леса. В таком случае необходимо для остановки пожара защищать кроны деревьев.

Обстановка на лесном верховом пожаре с отсутствием разрывов между деревьями была экспериментально смоделирована в работе [8]. Так было установлено, что при равномерном нанесении 2,5 кг ГОС на сосну высотой $h = 2$ м и шириной кроны $d = 1,5$ м обеспечивается надежное отсутствие воспламенения при прямом огневом воздействии. Одновременно для обеспечения нераспространения низового пожара, сопровождающего верховой, при таких условиях необходимо обработка материала лесной подстилки ГОС с удельным расходом $\Phi_2 = 2$ кг/м².

Рассмотрим случай, когда весь лесной массив состоит из сосен такого же размера, стоящих вплотную друг к другу. Тогда на защиту полосы леса глубиной 1,5 м и такой же шириной потребуется 2,5 кг ГОС. С учётом того, что в реальных условиях трудно нанести ОБ равномерно на всю защищаемую поверхность примем коэффициент избытка ОБ $k=2$. Тогда на защиту одной сосны необходимо израсходовать $m_1=5$ кг ГОС. Для защиты лесной подстилки необходимо затратить обеспечить удельный расход ГОС равный 2 кг/м^2 . На площади приходящейся на одну сосну $S=1,5 \cdot 1,5=2,25 \text{ м}^2$ необходимо затратить $m_2=\Phi_2 \cdot S=4,5$ кг ГОС. Суммарный расход ГОС на рассматриваемом участке составит $m=m_1+m_2=9,5$ кг. На обработку 1 м по фронту пожара затраты составят $9,5/1,5=6,3$ кг ГОС.

Рассмотренный подход справедлив только для соснового леса состоящего из сосен небольших размеров. Для такого лесного пожара характерна небольшая высота пламени и малое время сгорания одного дерева (до 10 минут). При увеличении размеров хвойных деревьев увеличивается высота пламени, интенсивность теплового потока из области пожара и время воздействия теплового воздействия на защищаемые участки леса. Проведённые ранее экспериментальные исследования, показали, что сосна высотой 2 м равномерно обработанная 2,5 кг ГОС не воспламеняется при увеличении времени теплового воздействия (последовательное непрерывное сжигание трёх деревьев вблизи защищаемого дерева). Увеличение теплового потока на хвою сосны реализуемое путём взаимного перекрывания ветвей горящего и защищаемого дерева так же не привело к загоранию.

На основании этого можно заключить, что для защиты более крупных деревьев необходимо обеспечить такой же поверхностный расход ГОС. Рассмотрим теперь сосну с высотой кроны h и шириной d . Примем, что крона имеет форму конуса и общая площадь горючего материала кроны (ветви и хвоя) прямопропорциональна боковой

площади конуса $S_{\text{бок}} = \pi \cdot \frac{d}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + h^2}$. Площадь боковой поверх-

ности сосны высотой 2 м и диаметром 1,5 м составляет $5,03 \text{ м}^2$. Для защиты кроны такой сосны при тушении реального лесного пожара необходимо 5 кг ГОС. То есть, на защиту от воспламенения сосны на 1 м^2 боковой поверхности нужно израсходовать ~ 1 кг ГОС. Эту величина соответствует удельному расходу ГОС на защиту боковой поверхности дерева $\Phi_{\text{бок}} = 1 \text{ кг/м}^2$.

На защиту одного дерева необходимо затратить массу ГОС равную:

$$m = \Phi_{\text{бок}} \cdot \pi \cdot \frac{d}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + h^2} .$$

Так для защиты сосны высотой кроны 10 м и диаметром 8 м её крону необходимо равномерно обработать 135 кг ГОС.

В случае крупных лесных пожаров такая огнезащита леса может оказаться недостаточной для остановки продвижения лесного пожара. Высота пламени над кронами высоких деревьев может составлять десятки метров [1-3], поэтому тепловое излучение от факела пожара может воспламенить деревья, находящиеся на значительном расстоянии от фронта пожара. В зависимости от обстановки на лесном пожаре безопасное расстояние от фронта пожара составляет до 200 м [1-2]. Это означает, что огнезащита должна осуществляться на такую глубину. При этом деревья первых рядов должны быть защищены по всей высоте кроны. Деревья более дальних рядов частично экранированы от теплового излучения, поэтому могут быть защищены только в верхней части крон.

Примем, что защите по всей высоте кроны подлежат деревья на расстоянии 50 м от фронта пожара. На остальных 150 м защите подлежит только половина площади кроны. Рассмотрим случай, когда лес состоит из сосен с высотой кроны 10 м и диаметром 8 м, а средняя плотность стояния деревьев составляет 10000 на 1 км². В таком случае по фронту 1000 м на глубине от него 50 м будет находиться 500 деревьев, у которых необходимо обработать всю поверхность кроны. Для этого необходимо затратить $135 \cdot 500 = 67500$ кг ГОС. На расстоянии от фронта пожара от 50 м до 200 м будет находиться 1500 деревьев на огнезащиту, которых необходимо израсходовать $135 \cdot 0,5 \cdot 1500 = 101250$ кг ГОС. Общий расход ГОС на защиту крон деревьев составит 168750 кг ГОС или 169 кг на 1 м по фронту пожара.

Надежная защиты лесной подстилки от продолжительного воздействия интенсивного теплового излучения может быть осуществлена при обеспечении удельного расхода ГОС 5 кг/м² [7]. Такую защиту необходимо обеспечить на поверхностях, которые не экранированы кронами деревьев от теплового излучения пламени от фронта пожара. Примем, что оно составляет 20 м от первого ряда защищаемых деревьев. На большем удалении от фронта пожара достаточно обеспечить защиту от разлетающихся искр. Для этого достаточно обеспечить удельный расход ГОС 1 кг/м² [9]. Такой расход ГОС необходимо обеспечить на расстоянии от кромки пожара 200 м, то есть защита должна быть осуществлена на глубину 180 м. Общий расход ГОС для защиты от низового пожара на 1 м по фронту составит: $20 \cdot 5 + 180 \cdot 1 = 280$ кг ГОС.

Общий расход ГОС на огнезащиту крон деревьев и лесной подстилки в расчёте на 1 м по фронту пожара должен составить $169 + 280 = 449$ кг ГОС. Из этой массы ГОС 420 кг приходится на воду.

На практике линию остановки огня выбирают на имеющихся природных или искусственно созданных разрывах (просеки, дороги, ручьи, реки). В области таких пожарных разрывов отсутствуют дере-

вья. В области таких разрывов можно не проводить огнезащиту поверхностного слоя леса.

Рассмотрим случай остановки крупного верхового лесного пожара, когда линию остановки огня выбирают на границе разрыва шириной 10 м. В таком случае кроны деревьев по всей высоте нужно защитить на расстоянии 50 м от фронта верхового пожара. Это составляет 40 м от первого защищаемого ряда деревьев. На это необходимо затратить $135 \cdot 400 = 54000$ кг ГОС. На расстоянии от фронта пожара от 50 м до 200 м необходимо израсходовать $135 \cdot 0,5 \cdot 1500 = 101250$ кг ГОС. Общий расход ГОС на защиту кроны деревьев составит 154250 кг ГОС или 154 кг на 1 м по фронту пожара.

Для защиты горючих материалов в поверхностном слое необходимо затратить $10 \cdot 5 + 180 \cdot 1 = 230$ кг ГОС на 1 м по фронту пожара. Общий расход ГОС на огнезащиту кроны деревьев и лесной подстилки в расчёте на 1 м по фронту пожара должен составить $154 + 230 = 384$ кг ГОС. Из этой массы ГОС 359 кг приходится на воду.

Применение ГОС для тушения верховых пожаров имеет ряд практических преимуществ перед существующими методами. В первую очередь это низкие потери огнетушащего вещества. Другим преимуществом ГОС является возможность проводить огнезащиту заблаговременно – слой геля сохраняет свою работоспособность в течение десятков часов. Кроме того, применение ГОС не требует удаления горючих материалов из защищаемой области. После ликвидации лесного пожара защищаемый участок возвращается в лесохозяйственный оборот. Для подачи ГОС можно использовать как передвижную технику, так и использовать для подачи ГОС рукавные линии.

Выводы. Предложен метод тушения крупных верховых лесных пожаров с использованием ГОС. На основании экспериментальных данных по огнезащитным свойствам гелеобразующей системы $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ (5%) + CaCl_2 (8%) оценены необходимые массы ГОС для тушения таких пожаров. Показано, что для остановки верхового лесного пожара массы ГОС не превышают 500 кг на 1 м по фронту пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валендик Э.Н. Борьба с крупными лесными пожарами / Э.Н. Валендик – Новосибирск: Наука, 1990. – 193 с.
2. Арцыбашев Е.С. Лесные пожары и борьба с ними / Е.С. Арцыбашев – М.: Лесная промышленность, 1974. – 280 с.
3. Воробьёв Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Воробьёв Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. – М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312 с.
4. Смирнов Н.М. Как защитить лес от пожаров / Н.М. Смирнов // Пожарное дело. – 2003. – №1. – С. 10-13.

5. Сумцов Ю.А. Совершенствование жидкостных средств тушения лесных пожаров / Ю.А. Сумцов, А.А. Киреев, А.В. Бабенко // Пожежна безпека. – Львів. – 2005. – №6. – С. 29-31.

6. Патент 2264242 Российская федерация. МПК⁷ А62С, 5/033. Способ тушения пожара и состав для его осуществления Борисов П.Ф., Росоха В.Е., Абрамом Ю.А., Киреев А.А., Бабенко А.В. Заявитель и патентообладатель Академия пожарной безопасности Украины №2003237256/12; заявл. 23.12.2003; опубл. 20.11.2005, Бюл. №32.

7. Сумцов Ю.А. Использование гелеобразующих составов для борьбы с низовыми лесными пожарами / Ю.А. Сумцов, А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков. – 2007. – Вып. 22. – С. 175-179.

8. Сумцов Ю.А. Использование гелеобразующих составов для борьбы с верховыми лесными пожарами / Ю.А. Сумцов, А.А. Киреев, А.В. Александров // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, – 2008. – Вып. 23. – С. 180-185.

9. Сумцов Ю.А. Оценка времени локализации верхового лесного пожара / Ю.А. Сумцов, А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, – 2009. – Вып. 26. – С. 166-171.

10. Свиначенко В.Є. Лісова пірологія / В.Є. Свиначенко, О.Г. Бабіч, А.И. Швиденко – К.: Агропромвидав. України, 1999. – 172 с. nuczu.edu.ua

Ю.О. Сумцов, О.О. Киреев, К.В. Жернокльов

Оцінка маси гелеутворюючого складу на гасіння верхової лісної пожежі.

Запропонована схема гасіння верхової лісової пожежі з використанням гелеутворюючої системи $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2$ (5%) + CaCl_2 (8%). Проведена оцінка маси вогнегасних речовин для гасіння таких пожеж. Показано переваги використання гелеутворюючих складів по зрівнянню з традиційними методами гасіння верхових лісових пожеж.

Ключові слова: лісові пожежі, маса вогнегасної речовини, гелеутворюючі системи, вогнезахистна дія.

Y.O. Syntsov, A.A. Kireev, K.V. Zhernoklov

The estimated mass of gel-forming extinguishing compositions crown forest fire.

A scheme of crown forest fire suppression using gel-forming system $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2$ (5%) + CaCl_2 (8%) is offered. The estimation of the mass of gel forming composition required for suppression of such fires. The advantages of gel-forming composition as compared with traditional methods of suppression.

Keywords forest fires, the mass of the extinguishing agent, gelling systems, flame retardant effect.