

УДК 614.8

С.В. Говаленков<sup>1</sup>, Д.П. Дубинин<sup>2</sup><sup>1</sup>Університет громадянської захисту України, Харків<sup>2</sup>Український НІІІ пожежної безпеки МНС України, Харків

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЗРЫВНОГО СПОСОБА ДЛЯ БОРЬБЫ С ЛЕСНЫМИ ПОЖАРАМИ

Рассмотрена основная классификация лесных пожаров и способы борьбы с ними. Проведен анализ тушения лесных пожаров при помощи взрывов. Взрывной способ позволяет с более высокой производительностью, чем в случае использования инженерной техники, создавать заградительные полосы. Осуществление взрывного способа с использованием детонирующих топливовоздушных смесей обеспечивает более медленное затухание давления во фронте ударной волны, что позволяет расширить зону эффективного воздействия взрыва.

**Ключевые слова:** взрывной способ, лесной горючий материал, объемно-детонирующая смесь.

### Введение

**Постановка проблемы.** Лесные пожары в зависимости от вида сгорающих при их распространении материалов разделяются на низовые, верховые и почвенные [1], а в зависимости от механизма воздействия на пожар способы борьбы с ними разделены на три группы [3]:

1. Физико-механические способы локализации и тушения.
2. Химические способы.
3. Локализация и тушение с использованием взрывных волн.

К физико-механическим способам отнесены метод «захлестывания» фронта низового лесного пожара, тушение водой, а также локализация и тушение очага низового пожара с помощью грунтометов. К химическим способам отнесен отжиг и способы, в которых осуществляется доставка огнетушащих веществ во фронт пожара. К способам третьей группы относят использование взрывчатых веществ для локализации и тушения пожара. Взрывной способ рекомендуется применять для прокладки опорной полосы при отжиге в захлещенных участках в случае борьбы с кустарниковыми и валежниковыми пожарами под пологом леса. При тушении устойчивых низовых пожаров устройство заградительных полос является обязательным, а создают их перед фронтом пожара [4]. В этой связи, представляется важным определение эффективности использования взрывного способа для локализации и тушения лесных пожаров.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Скорость создания заградительной полосы взрывным способом ограничивается в первую очередь временем, необходимым для производства подготовительных работ. Выполнение личным составом взрывных работ в условиях ограниченного времени на их осуществление приводит к большому влиянию

«человеческого» фактора на ошибку. Это приводит к возрастанию риска при реализации взрывного способа создания заградительной полосы в традиционном виде.

Сравнение производительности устройства заградительных минерализованных полос только с помощью инженерной техники и взрывным способом, с привлечением для укладки инженерной техники, показывают преимущества последнего [4]. Так при взрывах конденсированных взрывчатых веществ за счет выбрасываемого грунта создается минерализованная полоса шириной 30 – 40 м. Скорость укладки заряда с помощью дернукладчиков и кротодренажных машин достигает 1,5 – 1,8 км/ч. А производительность устройства полосы шириной 10 м путепрокладчиком или бульдозером составляет 100 – 120 пог. м/ч. В тоже время, при устройстве полосы шириной 6-8 м одиночной инженерной машиной БАТ-М её производительность достигает 800 пог. м/ч.

Взрывной способ, применяемый для создания минерализованной полосы путем взрыва шнуровых накладных зарядов взрывчатых веществ на напочвенном покрове, целесообразно применять для локализации низовых лесных пожаров. Мощности взрыва таких зарядов недостаточно для того, чтобы создать препятствия для распространения пожара по кронам деревьев. Поэтому, для борьбы с верховыми лесными пожарами с целью эффективного создания заградительной полосы взрывным способом предложено реализовывать взрыв в пологе леса [6]. В [3] показано, что в связи с тем, что верховой пожар распространяется за счет сгорания во фронте хвои и тонких веток (диаметром до 7 мм), то заградительная полоса в этом случае создается путем сбивания хвои и веток на ширине, большей, чем фронт пожара. В зависимости от силы пожара такая ширина может составлять от 3 – 15 м. Для создания заградительной полосы взрывным способом заряды взрыв-

чатого вещества (ВВ) располагают объёмно в пологе леса с плотностью  $\rho > \rho^*$ , где  $\rho^*$  – минимальная масса ВВ в пологе леса, необходимая для срыва основной части (~80%) хвои и тонких веток в единице объёма полого леса. Согласно [3], значительное увеличение плотности заряда приводит к вывалу деревьев и отрыву крупных ветвей, что является нежелательным, так как ведет к увеличению массы лесных горючих материалов (ЛГМ) на подстилающей поверхности. Это может привести к усилению низового пожара и дальнейшему возобновлению верхового. Поэтому массу заряда ВВ на единицу объёма леса рекомендуется выбирать из условия:

$$\rho^* < \rho < 2\rho^* \quad (1)$$

Для тушения лесных пожаров, кроме наземных средств, применяют авиационные средства. Существует множество способов по тушению пожаров на крупных площадях с использованием воздушного транспорта. Для этого используются самолёты, вертолеты и аэростаты, например в [7] указывается, что, по мнению специалистов авиационного тушения, авиатанкеры наиболее эффективны при остановке пожара и при тушении пожаров в их начальной стадии развития. Вертолетные танкеры более эффективны при пожарах, распространившихся на большой площади, и неэффективны для остановки развития пожара. Очевидно, что использование авиационных средств пожаротушения значительно увеличивает стоимость работ по тушению пожара, хотя в отдельных случаях (на труднодоступных участках) их привлечение может быть наиболее эффективным. К фактору, понижающему эффективность применения летательных аппаратов для тушения лесных пожаров, следует отнести необходимость соблюдения безопасной высоты полета, которая составляет не менее 20 м для слабых низовых пожаров в начальной стадии их развития и не менее 200 м над фронтом низового пожара средней интенсивности [8]. Это связано с возникновением в зоне лесных пожаров мощных конвекционных потоков. В результате, в условиях сильного ветра огнетушащий состав распределяется на больших площадях с соответствующим снижением эффективности его применения. Поэтому, наиболее широкое применение нашли наземные средства борьбы с пожарами.

При использовании взрывного способа, мощную ударную волну предлагается применять не только для создания огневых заградительных полос, но и для тушения горящих поверхностей жидкости, а также низовых лесных пожаров [9]. В предложенном техническом устройстве усовершенствование направлено на улучшение параметров создаваемых при взрыве потоков огнетушащих средств. Данный эффект достигается за счет комбинации разнотипных взрывчатых материалов (детонирующего шнура

и дымного ружейного пороха) с огнетушащим (огнеустойчивым) составом. Очевидно, что дополнение к заряду огнетушащего состава позволяет улучшить параметры потока, приводящего к тушению пожара. Но снижение удельной плотности энергии ведет к понижению интенсивности формируемой ударной волны. Поэтому, применение такого устройства для расчистки опорной полосы от растительности становится нецелесообразным.

В [10] предлагается применять для тушения лесных пожаров ударную волну 4 (рис. 1). Особенностью предлагаемого метода заключается в расположении заряда взрывчатого вещества 2 внутри контейнера 1, в котором находится реагент 3 для тушения пожара. Для удобства применения метода, контейнер предлагается исполнять в виде гибкого шланга, закрытого с обеих сторон. Контейнер необходимо располагать вдоль очага воспламенения. Взрыв заряда в контейнере обеспечивает диспергирование тушащего реагента и его выброс в виде тумана на горящую поверхность.

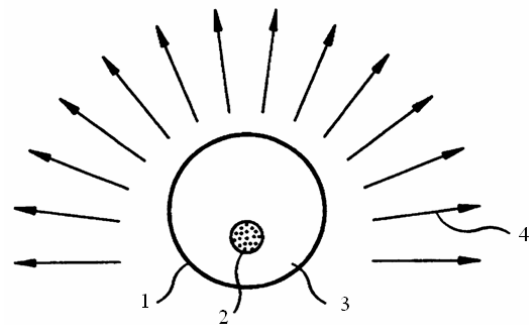


Рис. 1. Устройство для диспергирования тушащего реагента за счет взрыва

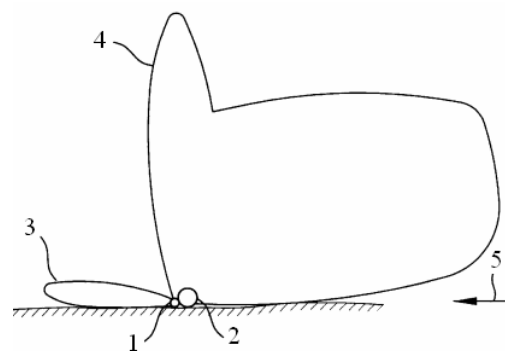


Рис. 2. Профили интенсивности ударного воздействия, формируемых за счет взрывов расположенных рядом шлангов со взрывчатым веществом

Для получения направленного взрыва для тушения лесных пожаров предлагается применять комбинированный взрыв [11]. Такой взрыв реализуется за счет взрывов расположенных рядом шлангов 1 и 2 с взрывчатым веществом, несущих разную

енергию взрыва (рис. 2). В результате, можно достичь перераспределения возникающих при взрыве импульсов давления 3, 4 в сторону очага воспламенения 5.

На эффективность тушения пожара путем подрыва ВВ значительное влияние оказывают условия подрыва заряда [12]. Данные условия выбираются таким образом, чтобы при взрыве в процессе детонации участвовали газообразные горючие лесные продукты пиролиза ЛГМ. За счет этого увеличивается энергия взрыва с соответствующим увеличением тушащего радиуса действия от возникающей ударной волны.

Уменьшение затрат ВВ на тушение пожара предлагается за счет повышения эффективности их использования путем формирования направленного взрыва. Направленный взрыв достигают через применение отражающих экранов различной конфигурации. Так, применение наиболее простого плоского гибкого отражающего экрана позволило повысить давление в пологе леса в приделах 1,4 – 1,5 раза [13]. Увеличение эффекта фокусировки заряда, предложено в [14], где применяется отражатель, выполненный в виде двугранного угла величиной 110 – 120° с установленным по формуле изобретения местом размещения заряда. В этом случае достигается повышение давления во фронте ударной волны на 11 – 43%.

Наибольший эффект фокусировки ударной волны предложено в [15], где применен цилиндрический синусоидальный отражатель, что позволило увеличить в 1,5 раза дальность тушащего действия ударной волны по сравнению с угловым отражателем. В [16] заряд объемного взрыва используется для обрыва хвои и тонких веток и срыва пламени верхового пожара.

В отличие от динамики распространения продуктов взрыва конденсированных ВВ, давление во фронте ударной волны, формируемой в результате объемного взрыва, затухает более медленно. Это позволяет расширить зону эффективного воздействия от взрыва. По своему устройству предложенная в [16] конструкция соответствует боеприпасу объемного взрыва (БОВ). Разложение снаряда боеприпаса при взрыве протекает по четырём основным механизмам: деструкцией молекул жидкости под действием высоких давлений в ударных волнах, химическим взаимодействием раскаленных продуктов детонации ВВ с паром и каплями рецептуры, нагреванием вещества и его разложением.

### Постановка задачи и ее решение

Рассмотрим проблему создания крупномасштабной объемно-детонирующей системы (ОДС) при формировании аэрозольного облака, а также возможности применения нового способа, основан-

ного на использовании струи отработанных газов для формирования детонационно-способных смесей.

В результате исследования процессов формирования аэрозольной системы взрывным методом, установлено, что разлет диспергированных частиц жидкого снаряжения осуществляется не за счет метательного действия ВВ, а за счет газодинамического расширения, возникающего за фронтом результирующей ударной волны. При взрыве боеприпаса с осевым расположением разрывного заряда образуется (ОДС) в виде облака по форме, близкой к эллипсоиду вращения с осями (рис. 3):

$$R_3 = 0,15\sqrt[3]{M_{ВВ}\epsilon\beta_2}; \quad (2)$$

$$H_3 = 0,533R_3, \quad (3)$$

где  $\beta_2$  – коэффициент наполнения заряда;  $\epsilon$  – удельная энергия ВВ;  $M_{ВВ}$  – масса ВВ [кг];  $R_3, H_3$  – оси эллипсоида [м].

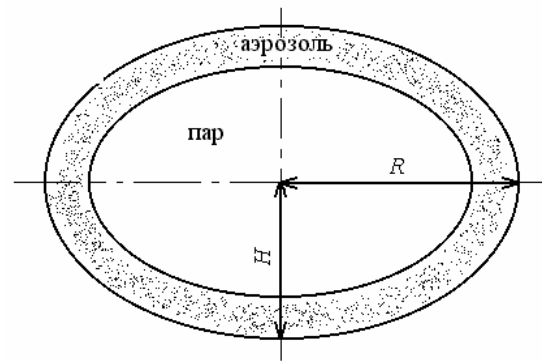


Рис. 3. Распределение состава ОДС в пространстве, получаемое при подрыве БОВ цилиндрической формы в однородной безграничной атмосфере:

$R, H$  – длины полуосей эллипсоида

Фазовый состав облака определяется распределением пара и капель по объёму системы. Путь, пройденный каплей за ударной волной в направлении наибольших и наименьших осей эллипсоида, может быть представлен в виде

$$l = \frac{R(H)}{1 + \frac{8}{3} \frac{\rho_{ж} d_i}{\rho_{в} R(H)}}, \quad (4)$$

где  $l$  – длина пути, пройденной каплей [м];  $R(H)$  – размер облака в направлении наименьшей и наибольшей оси эллипсоида, соответственно [м];  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости [кг/м<sup>3</sup>];  $d_i$  – диаметр капли [м].

По структуре облако неоднородно и характеризуется наличием в центре полости, заполненной паром мгновенно испарившегося снаряжения и паром, который образуется при движении капель за фронтом ударной волны. Основная масса диспергированного вещества (около 90%) сосредоточена в периферийном слое, толщина которого составляет 0,2

радиального расстояния от центра облака до внешней его границы. Распределение капель по размерам в этом слое характеризуется преобладанием более крупных на внутренней границе слоя, заполненного дисперсными частицами.

Первоначально сформированное облако ОДС на высоте  $H$  (при использовании авиации) в момент времени  $t = 0$  начинает осаждаться и диффундировать в окружающей среде. Изменение концентрации в аэрозольном облаке в виде функции координат и времени  $q_w(x, y, z, w, t)$  определено из уравнения турбулентной диффузии

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q_w}{\partial t} + u \frac{\partial q_w}{\partial x} - w \frac{\partial q_w}{\partial z} = \\ & = k_x \frac{\partial^2 q_w}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 q_w}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 q_w}{\partial z^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $k_x, k_y, k_z$  – коэффициенты турбулентной диффузии;  $u$  – скорость ветра;  $w$  – скорость осадения частиц.

Начальные и граничные условия задачи:

$$\text{при } t = 0: q_w = Q \delta(x) \delta(y) \delta(z - H);$$

$$\text{при } z = 0: q_w = 0;$$

$$\text{при } (x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{1}{2}} \rightarrow 0: q_w \rightarrow 0.$$

Здесь  $Q$  – количество диспергированного снаряжения;  $\delta(x), \delta(y), \delta(z - H)$  – функции распределения концентрации жидкого снаряжения в первоначально сформированном облаке ОДС.

Решение уравнения (5) при указанных условиях получено в виде

$$\begin{aligned} q_w = & \frac{Q}{8} (\pi t)^{-\frac{3}{2}} (k_x k_y k_z)^{-\frac{1}{2}} \times \\ & \exp \left[ -\frac{(x - ut)^2}{4k_x t} - \frac{y^2}{4k_y t} - \frac{w^2 t^2 + 2wt(z - H)}{4k_z t} \right] \times \\ & \times \left[ \exp \left( -\frac{(x - H)^2}{4k_z t} \right) - \exp \left( -\frac{(x + H)^2}{4k_z t} \right) \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Это решение позволяет определить объёмную концентрацию однородных частиц в облаке аэрозоля для усредненного значения скорости оседания частиц  $w$ . Для неоднородных частиц в аэрозольном облаке необходимо задать распределение плотности в зависимости от скоростей падения частиц.

Таким образом, метод формирования ОДС рассеиванием, при использовании авиации, нецелесообразно применять для тушения лесных пожаров взрывным способом, из-за сложности получения равномерного распределения концентрации топлива в облаке данным способом и неизбежной необходимостью распыления топлива на высоте более 10 м, что делает данный способ материально затратным.

Для создания заградительных полос при низком лесном пожаре эффективным может быть новый способ, основанный на применении струи отработанных газов для формирования детонационно-способных смесей [17] с последующим их подрывом. Высокое потребление воздуха на систему охлаждения в мощных двигателях приводит к наличию достаточного количества свежего воздуха в отработанных газах. Поэтому в таких струях за счет впрыскивания в поток топлива, например, пропана, должно быть обеспечено формирование детонационно-способных смесей. Создание облака длиной более 20 м, с помощью данного способа осуществляется за десятки секунд. Очевидно, что ударное воздействие, возникающее от объемного взрыва в следе машины, позволит расширить создаваемую инженерной машиной заградительную полосу, чем сблизит характеристики вышеуказанных способов создания полосы.

Очевидно, что подача смеси в открытое пространство будет приводить к значительному её рассеиванию, следовательно, необходимо рассмотреть распределение массовой концентрации пропана в воздушной струе при выходе топлива из сопла установки, осуществляющей смешивание отработанных газов двигателя транспортного средства и пропана. На качество формирования детонационно-способного облака значительное влияние будут оказывать погодные условия. Поэтому, в условиях сильного ветра данный способ практически не применим. Хотя идея применения мощных струй двигателей для осуществления смешивания в потоке газа, подогрева топлива и принудительного распространения смеси в пространстве заслуживает внимания.

## Выводы

Для тушения сильных лесных пожаров широкое применение нашли такие способы борьбы с пожарами как устройство заградительных полос и осуществление отжига. Реализация данных способов требует создания минерализованной полосы, что в настоящее время осуществляется путем использования наземных технических средств или взрывным способом.

Взрывной способ позволяет с более высокой производительностью, чем в случае использования инженерной техники, создавать заградительные полосы. За счет ударного воздействия также производится расчистка местности от растительности, прекращение распространения пожара путем разрушения структуры его фронта и обрыв ЛГМ в полого леса.

Реализация взрывного способа, в котором используются твердые взрывчатые вещества, требует проведения подготовительных работ по распределению и укладке зарядов. Ведение таких работ в усло-

виях обмеженого часу приводить до зростаючій частоті фактора ризику.

Осуществление взрывного способа с использованием детонирующих топливоздушных смесей обеспечивает более медленное затухание давления во фронте ударной волны, что позволяет расширить зону эффективного воздействия взрыва.

Существующие способы создания объёмно-детонирующих систем требуют применения специального топлива. Качество формирования смеси в значительной мере зависит от погодных условий. Большая доля топлива рассеивается в процессе формирования облака в неограниченном пространстве. Поэтому, взрывной способ с использованием детонирующих топливоздушных смесей станет целесообразно применять для борьбы с пожарами в случае решения вышеуказанных проблем.

### Список литературы

1. Вонский С.М. Лесные пожары и способы их тушения / С.М. Вонский, В.Б. Наумов, В.А. Жданко. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1989. – 56 с.
2. Арцыбашев Е.С. Лесные пожары и борьба с ними / Е.С. Арцыбашев. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 152 с.
3. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними / А.М. Гришин. – М.: Наука, 1992. – 408 с.
4. Технические средства и способы тушения пожаров / С.С. Авакимов, В.П. Булгаков, М.И. Бушуй, Н.Д. Тараканов; под ред. Б.П. Иванова. – М.: Энергоиздат, 1981. – 256 с.
5. Гейман Л.М. Взрыв: история, практика, перспективы / Л.М. Гейман. – М.: Наука, 1978. – 184 с.
6. А.с. 1136811 СССР, МКІ<sup>3</sup> А 62С3/02. Способ тушения лесного пожара / А.М. Гришин, В.М. Бабаев, А.Д. Грузин, В.Г. Зверев, В.Е. Абалтусов, Г.Я. Мамонтов (СССР). – 3 с.

7. Валендик Э.Н. Борьба с крупными лесными пожарами / Э.Н. Валендик. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1990. – 193 с.

8. Валендик Э.Н. Крупные лесные пожары / Э.Н. Валендик, П.М. Матвеев, М.А. Софронов. – М.: Наука, 1979. – 198 с.

9. А.с. 1797915 СССР, МКІ<sup>5</sup> А 62С3/00. Противопожарное устройство / Алексеев В.А., Пихиенко В.В., Родэ Ю.А., Иванов Н.А., В.В. Виноградов (СССР). – 3 с.

10. Патент США № 5894891, МПК<sup>6</sup> А 62С35/08. Method and devise for extinguishing fires / Rosenstock W., Ries R..

11. Патент США № 6164382, МПК<sup>7</sup> А 62С2/00. Pyrotechnical devise and process for extinguishing fires / Schutte V., Wagner W.

12. А.с. 1657199 СССР, МКІ<sup>5</sup> А 62С3/02. Способ тушения лесных пожаров / Гришин А.М., Голованов А.Н., Кулаков Б.И. (СССР). – 3 с.

13. А.с. 1644976 СССР, МКІ<sup>5</sup> А 62С3/02. Способ тушения лесных пожаров / Гришин А.М., Алексеев Н.А., Голованов А.Н. (СССР). – 3 с.

14. Патент России 2033826, МКІ<sup>6</sup> А 62С3/02. Устройство для локализации и тушения лесных пожаров / Гришин А.М., Антонов В.А., Наймушина Л.Ю., Голованов А.Н., Кустов Ю.В. – 4 с.

15. Рева Г.В. Метод розрахунку циліндричних відбивачів вибухових хвиль для гасіння лісових пожеж: Автореф. дис.... канд. техн. наук. – Донецьк, 2000. – 18 с.

16. А.с. 1657198 СССР, МКІ<sup>5</sup> А 62С3/02. Устройство для тушения лесного пожара / Гришин А.М., Голованов А.Н., Андреев Н.А., Пряхин П.Н. (СССР). – 2 с.

17. Патент України на винахід № 78083, МПК<sup>7</sup>: F41H11/12 Спосіб розмінування мінно-вибухових загороджень / Сиротенко А.М., Янчик О.Г., Стаховський О.В., Коритченко К.В., Ларин О.Ю. – 4 с.

Поступила в редколлегию 23.01.2009

**Рецензент:** канд. техн. наук, доцент Н.И. Адаменко, Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков.

### ЗАСТОСУВАННЯ ВИБУХОВОГО СПОСОБУ ДЛЯ БОРЬБИ З ЛІСОВИМИ ПОЖЕЖАМИ

С.В. Говаленков, Д.П. Дубинін

Розглянуто основну класифікацію лісових пожеж і способи боротьби з ними. Проведено аналіз гасіння лісових пожеж за допомогою вибухів. Вибуховий спосіб дозволяє з вищою продуктивністю, ніж у разі використання інженерної техніки, створювати загороджувальні смуги. Здійснення вибухового способу з використанням детонуючих паливоповітряних сумішей забезпечує повільніше загасання тиску у фронті ударної хвилі, що дозволяє розширити зону ефективної дії вибуху.

**Ключові слова:** вибуховий спосіб, лісовий горючий матеріал, об'ємно-детонуюча суміш.

### APPLICATION OF EXPLOSIVE METHOD FOR FIGHT AGAINST FOREST FIRES

S.V. Govalenkov, D.P. Dubinin

Basic classification of forest fires and methods of fight is considered against them. The analysis of extinguishing of forest fires is conducted through explosions. An explosive method allows with more high performance, than in the case of the use of engineering technique, to create barrage bars. Realization of explosive method with the use of detonating aerofuel mixtures provides more slow fading of pressure in front of shock wave, that allows to extend the area of effective influence of explosion.

**Keywords:** explosive method, forest combustible material, by volume of-detonating mixture.