

*Сиротенко А.Н., к.т.н., начальник АСВ г. Одесса,  
Дубинин Д.П.,  
А.А. Лисняк, к.т.н., доцент, нач. кафедры, НУГЗУ*

## **К ВОПРОСУ О ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СПОСОБА СОЗДАНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ РАЗРЫВОВ ОБЪЕМНЫМИ ШЛАНГОВЫМИ ЗАРЯДАМИ**

(представлено д-ром техн. наук Кривцовой В.И.)

В работе проведено обоснование выбора топлива и диаметра объемного шлангового заряда к взрывному способу создания противопожарных разрывов, исходя из пределов распространения детонации. Представлены результаты расчета расхода топлива на единицу длины объемного шлангового заряда. Проведено сравнение энергии взрывов объемного шлангового заряда и шнурового заряда типа ЭШ-1П.

**Ключевые слова:** противопожарный разрыв, объемный шланговый заряд, углеводородное топливо.

**Постановка проблемы.** Ежегодно на территории лесного фонда Украины возникает несколько тысяч пожаров. При этом, общие ежегодные убытки, причиненные лесными пожарами, достигают десятков миллионов гривен, из которых основная часть затрачивается на гашение пожаров и возобновление лесов. Для осуществления мероприятий по охране лесов от пожаров лесохозяйственные предприятия расходуют десятки миллионов гривен и, как правило, около 80 % от данной суммы составляют собственные средства данных предприятий. Например, в 2009 году наиболее резонансным стал лесной пожар, возникший в районе села Лопаскино на территории Луганского лесничества ГП "Луганское ЛМГ". Общая площадь пожара составила 200 га, из них 150 га лесонасаждений (45 га верхового леса) и 50 га сухой травы. Из-за знойной погоды и порывистого ветра, достигавшего от 15 до 20 м/с, произошло повторное распространение пожара на лесные массивы и сухую траву на открытой территории Луганского и Трехизбенского лесничества. Пожар приобрел очаговое распространение с большим расстоянием между очагами. Общая площадь пожара составила 1100 га, из них 700 га смешанного леса и 400 га кустарников и травяного покрова [1].

Поэтому разработка способов, позволяющих с малыми затратами и с высокой производительностью локализовать очаги возникающих пожаров, является актуальным.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Гришиным А.М., Зимой В.П., Ревой Г.В. и др. предложена новая концепция борьбы с пожарами на больших площадях, основанная на локализации

и последующем тушении пожара с малыми энергетическими затратами с помощью взрывных зарядов на основе конденсированных взрывчатых веществ [2-4]. Последующее развитие данной концепции, заключающееся в применении объемных шланговых зарядов (ОШЗ), представлено в работах [5, 6]. В данных работах теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность формирования противопожарных разрывов с помощью взрыва ОШЗ, получена зависимость ширины разрыва от диаметра и расположения ОШЗ. В то же время, вопросы обоснования типа топлива, которое целесообразно использовать в ОШЗ, и диаметра заряда не рассматривались. Также требует оценки расход топлива на единицу длины объемного шлангового заряда (один метр) в зависимости от типа топлива.

**Постановка задачи и ее решение.** Таким образом, одним из шагов для достижения конечной цели исследования - создание противопожарных барьеров для локализации лесных пожаров путем смешивания струи отработанных газов с горючим газом в ограниченном объеме с последующим их подрывом, необходимо решить ряд задач, а именно: обосновать выбор типа топлива и необходимый его расход для создания ОШЗ способного сформировать необходимый противопожарный разрыв. При практической реализации способа создания противопожарных разрывов объемными шланговыми зарядами целесообразно применение распространенного углеводородного топлива. При этом, требуется учитывать условия хранения и транспортировки топлива, требуемые меры безопасности при использовании. Одним из условий формирования стехиометрической топливовоздушной смеси в ОШЗ является газообразное состояние топлива в условиях практического применения зарядов. Поэтому необходимо использовать топливо, которое при атмосферном давлении и плюсовой температуре находится в газовой фазе.

На выбор типа топлива влияет его детонационная способность в смеси с воздухом. Данная способность определяет минимальный диаметр ОШЗ, при котором возможно распространение детонации в данной смеси в оболочке заданного диаметра. Большие значения диаметра ОШЗ приведут к повышенному расходу топлива, что увеличит затраты на создание противопожарного разрыва.

Рассмотрим влияние типа топливовоздушной смеси на минимальный диаметр объемного шлангового заряда, при котором обеспечивается распространение самоподдерживающейся детонации. Согласно экспериментальных данных [7], установлено, что для каждой смеси имеется критический объем, при котором возможно самоподдерживающееся развитие детонации. Размер данного объема зависит от чувствительности смеси к детонации, которая в свою очередь может быть охарактеризована длиной детонационной ячейки. Для расчета критического диаметра  $D_{кр}$  облака, при котором возможно распространение детонации в

неограниченном объеме, получена формула [7]:

$$D_{кр} = 20 \cdot \lambda, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – характерная длина детонационной ячейки.

В работе [8] установлено, что на размер детонационной ячейки влияют начальное давление во взрывчатой смеси, соотношение топлива к окислителю, наличие других химических веществ в смеси. С отклонением от состава смеси в сторону детонационных пределов, длина детонационной ячейки возрастает. Причем, возрастание может произойти более чем в 10 раз (рис. 1). В результате, происходит возрастание критического диаметра облака для заданной топливовоздушной смеси также на порядок. Поэтому, надежное распространение детонации топливовоздушной смеси в оболочке малого диаметра обеспечится только в случае формирования смеси, близкой к стехиометрическому составу. Данное условие ужесточает требования к системе заполнения оболочки топливовоздушной смесью.

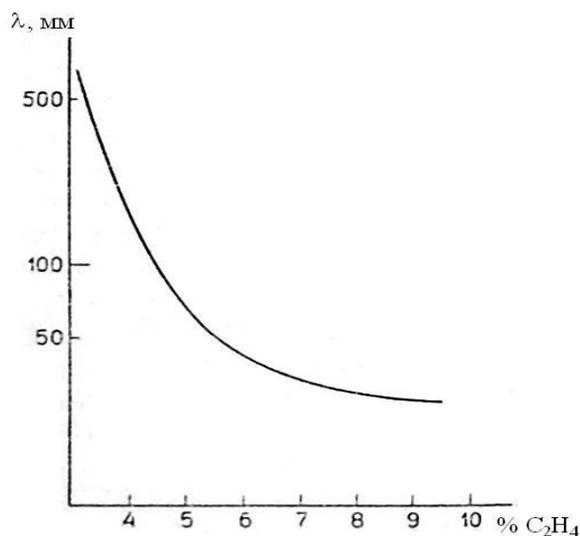


Рис. 1 – Зависимость длины детонационной ячейки от содержания этилена в смеси с воздухом [8]

Исходя из размеров детонационной ячейки, представленных в работе [8], по выражению (1) рассчитаем минимальный диаметр объемного шлангового заряда (табл. 1).

Анализируя расчетные данные по минимальному диаметру, получим, что применение метана в качестве топлива для объемного шлангового заряда в случае тушения лесных пожаров не является целесообразным из-за повышенного расхода топлива. Кроме того, с возрастанием объема заряда увеличивается расход воздуха, что очевидно приводит к увеличению времени заполнения оболочки.

По расчетным данным видно (табл. 1), что возможно создание объемных шланговых зарядов диаметром до 0,5 м в случае применения

К вопросу о практической реализации способа создания противопожарных разрывов объемными шланговыми зарядами

ния в качестве топлива водорода и ацетилена, диаметром до 1 м – этилена, диаметром до 2 м – этана, пропана и н-бутана.

**Таблица 1 – Минимальный диаметр объёмного шлангового заряда в зависимости от топливной смеси**

Топливо с воздухом	$\lambda$ , мм	Минимальный диаметр объёмного шлангового заряда $D_{\text{мин}}$ , м
H <sub>2</sub>	15,9 ± 2	0,32 ± 5%
CH <sub>4</sub>	500 ± 80	10 ± 5%
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	13,6 ± 1,6	0,27 ± 5%
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	39 ± 6	0,78 ± 5%
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	88 ± 14	1,76 ± 5%
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	72 ± 12	1,44 ± 5%
н-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	85	1,7 ± 5%

В качестве оболочки объёмных шланговых зарядов возможно применение существующих в промышленности материалов. Так, согласно [9] производится полиэтиленовая пленка в виде сложенной оболочки полушириной по  $l_1 = 1,5$  м и  $l_2 = 2$  м. В результате надувания данной оболочки формируется шланговый заряд диаметром  $D$ :

$$D = \frac{2 \cdot l_i}{\pi}. \quad (2)$$

Отсюда получим, что из пленки полушириной 1,5 м образуется заряд диаметром  $D_1 \approx 0,95$  м, а из 2 м -  $D_2 \approx 1,3$  м.

Для расчета топлива, необходимого для формирования стехиометрической смеси, требуется знать объём  $V$  смеси в единице длины заряда:

$$V = \frac{l^2}{\pi} [\text{м}^3/(\text{м})]. \quad (3)$$

Из выражения (3) получим, что для заполнения оболочки из полиэтиленовой пленки полушириной 1,5 м требуется  $V_1 \approx 0,72$  м<sup>3</sup>/м, а из 2 м -  $V_2 \approx 1,27$  м<sup>3</sup>/м.

Расчет количества топлива в смеси с воздухом производится исходя из концентрационных пределов распространения детонации в выбранной смеси. Следует учитывать, что концентрационные пределы зависят ещё и от того, производится ли взрыв в замкнутом или неограниченном объёмах (табл. 2). Хотя, в случае развития детонации в объёмном шланговом заряде происходит частичное отражение детонационной волны от оболочки, для получения надёжной детонации необходимо ориентироваться на детонационные пределы в неограниченном пространстве. По приведенным данным видно, что детонационные пределы несколько уже пределов воспламенения.

**Таблица 2 – Пределы детонации и воспламенения топливовоздушных смесей [8]**

Топливо	Пределы детонации в замкнутом объеме, об. %		Пределы детонации в неограниченном объеме, об. %		Пределы воспламенения, об. %	
	нижний	верхний	нижний	верхний	нижний	верхний
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2,87	12,20	4,0	9,2	3,0	12,4
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2,57	7,37	3,0	7,0	2,1	9,5
<i>n</i> – C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	1,98	6,18	2,5	5,2	1,8	8,4
<i>n</i> – C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	1,45	2,85	-	-	0,95	-
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	3,32	14,70	-	-	2,7	36,0
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	3,55	10,40	3,5	8,5	2,4	11,0
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	4,2	50,0	-	-	2,5	80,0

Минимальный объем топлива можно рассчитать по эквивалентной энергии взрыва зарядов, которые применяются для локализации и тушения лесных пожаров. Так, шнуровой заряд типа ЭШ-1П представляет собой профилированный эластичный шнур с эффективным диаметром 0,022 м и заполненный гексогеном, плотность которого равняется 1052 кг/м<sup>3</sup>. Для данного взрывчатого вещества теплота взрыва составляет 5447 кДж/кг. Отсюда получим, что на единицу длины заряда выделяется энергия, равная  $Q_{вз} = 2180$  кДж/м.

Для расчета энергии взрыва объемного шлангового заряда, кроме исходного объема смеси, необходимо знать удельную теплоту сгорания топлива  $Q_T$  (табл. 3) и массовую долю топлива в смеси, которая может сгореть в результате химической реакции в данной смеси.

Используя данные по энергии взрыва конденсированных шланговых зарядов  $Q_{вз}$  и удельную теплоту сгорания топлива  $Q_T$ , определим расход топлива на единицу длины объемного шлангового заряда по формуле:

$$W_{T\_экр} = Q_{вз} / Q_T \text{ [кг/м]}. \quad (4)$$

В представленных результатах расчета расхода топлива (табл. 3) предполагается, что в объемном шланговом заряде формируется стехиометрическая топливовоздушная смесь.

**Таблица 3 – Расход топлива на создание объемных шланговых зарядов с плотностью энергии взрыва, эквивалентной заряду ЭШ-1**

Топливо	Удельная теплота сгорания топлива $Q_T$ , кДж/кг	Расход топлива $W_{T\_экр}$ , кг/м
H <sub>2</sub>	142868	0,015
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	49900	0,044
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	47300	0,046
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	47500	0,046
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	46400	0,047

Полученные значения расхода топлива позволяют предположить, что метод тушения пожаров объёмным взрывом может быть малозатратным, а установка по созданию минерализованных полос может быть компактной и мобильной.

Для расчета количества воздуха, необходимого для сгорания топлива, воспользуемся данными по массовой и объёмной долях топлива в стехиометрической топливовоздушной смеси (табл. 4).

Используя данные по плотности воздуха  $\rho_B = 1,29 \text{ кг/м}^3$  в нормальных условиях, расчет массы  $m_T$  топлива, необходимого на создание  $1 \text{ м}^3$  стехиометрической топливовоздушной смеси в шланговом заряде, произведем по формуле:

$$m_T = \rho_B \cdot (1 - 0,01\beta_V) \cdot 0,01\beta_M / (1 - 0,01\beta_M) \text{ [кг/м}^3\text{]}. \quad (5)$$

где  $\beta_V$  – объёмная доля топлива,  $\beta_M$  – массовая доля топлива.

**Таблица 4 – Объёмная и массовая доля топлива в стехиометрической смеси с воздухом**

Доля топлива	Топливо				
	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
Объёмная доля $\beta_V$ , %	28,57	7,4	6,25	5,4	3,85
Массовая доля $\beta_M$ , %	2,7	6,74	6,1	5,62	5,26

Зная объём смеси, который может быть сформирован в единице длины шлангового заряда (например, по выражению (2)), и используя данные по расходу топлива на создание стехиометрической смеси в данной объёме (например, по выражению (4)), легко определить расход топлива  $W_T$  на заполнение единицы длины выбранного заряда (табл. 5).

**Таблица 5 – Расход топлива на создание объёмных шланговых зарядов разных диаметров**

Топливо	Расход топлива $W_T$ , кг/м	
	Диаметр заряда $D_1 = 0,95 \text{ м}$	Диаметр заряда $D_2 = 1,3 \text{ м}$
H <sub>2</sub>	0,018	0,032
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,062	0,109
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,056	0,099
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,052	0,092
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,046	0,087

Сравнивая полученные результаты расчета (табл. 5) с данными по массовому расходу топлива на создание заряда с эквивалентной энергией взрыва заряда ЭШ-1 (табл. 3), получим, что достаточно применение шлангового заряда диаметром  $D_1 = 0,95 \text{ м}$  для выбранных типов газообразных топлив. Но из-за ограничения минимального диаметра объёмного шлангового заряда, получим, что при данном диа-

метре возможно формирование заряда только с использованием водорода, ацетилена или этилена. Но данные типы топлива (горючего газа) требуют использования специальных баллонов и не достаточно распространены в использовании. Поэтому считается целесообразным применение пропана в качестве топлива в ОШЗ, так как данный газ при повышенном давлении сжижается, что позволяет уменьшить габариты установки по созданию объемных шланговых зарядов.

**Выводы.** Обосновано, что расчет диаметра заряда требуется проводить по эквивалентной энергии взрыва с корректировкой минимальной величины критического диаметра, при котором возможно распространение самоподдерживающейся детонации. Получено, можно реализовать объемные шланговые заряды на основе топливовоздушных смесей диаметром до 0,5 м в случае применения в качестве топлива водорода и ацетилена, диаметром до 1 м – этилена, диаметром до 2 м – этана, пропана и н-бутана. Учитывая распространенность топлива и удобства в практической эксплуатации, считается целесообразным использование пропана для формирования горючей смеси в ОШЗ. Рассчитано, что расход топлива на создание объемных шланговых зарядов с плотностью энергии взрыва, эквивалентной заряду ЭШ-1, не превысит 0,05 кг/м. Поэтому, метод тушения пожаров объемным взрывом может быть мало затратным, а установка по созданию минерализованных полос может быть компактной и мобильной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2009 році.
2. Рева Г.В. Метод розрахунку циліндричних відбивачів вибухових хвиль для гасіння лісових пожеж: Автореф. дис. канд. техн. Наук. – Донецьк, 2000. – 18с.
3. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – М.: Наука, 1992. – 408с.
4. Разработка концепции новых способов и устройств для борьбы с верховыми лесными пожарами: - Отчет о НИР / Том. ун-т; Руководитель работы А.М. Гришин. – Томск, 1989. – 276 с.
5. Говаленков С.В. Применение взрывного способа для борьбы с лесными пожарами / С.В. Говаленков, Д.П. Дубинин / Системи оброку інформації: / ХУПС ім. І. Кожедуба - Вип. 2 (76). – Харків: 2009. – С. 135-139.
6. Сиротенко А.М. Экспериментальное исследование способа создания противопожарных разрывов объемными шланговыми зарядами / А.М. Сиротенко, Д.П. Дубинин, К.В. Корищенко Проблемы пожарной безопасности: Выпуск 30. – Харьков: НУГЗ МЧС Украины, 2011.– С. 234 – 241.

7. Murray S.B. Fuel-air explosives // Proceeding of Meeting the challenge defense research at Suffield. – 15-20 June 2003. – Canada. – P.60-73.

8. Нетлетон М. Детонация в газах: [монография] / М. Нетлетон; пер. с англ. – М.: «Мир», 1989. – 278, [1] с.

9. ГОСТ 10354-82: Пленка полиэтиленовая. Технические условия.  
nuczu.edu.ua

А.М. Сиротенко, Д.П. Дубінін, А.А. Лісняк

**До питання щодо практичної реалізації способу створення протипожежних розривів об'ємними шланговими зарядами**

У роботі здійснено обґрунтування вибору палива і діаметру об'ємного шлангового заряду до вибухового способу створення протипожежних розривів виходячи з меж розповсюдження детонації. Представлені результати розрахунку витрати палива на одиницю довжини об'ємного шлангового заряду. Проведено порівняння енергії вибухів об'ємного шлангового заряду і шнурового заряду типу ЕШ-1.

**Ключові слова:** протипожежний розрив, об'ємний шланговий заряд, вуглеводневе паливо.

A.M. Sirotenko, D.P. Dubinin, A.A. Lisnyak

**To question about practical realization of method of creation of fire-prevention breaks by volume hose charges**

The ground of choice of fuel and diameter of a volume hose charge is conducted in work relating to the explosive method of creation of fire-prevention breaks. The choice was based on limits of a detonation propagation. The calculation results of fuel consumption on creation of one linear meter of the volume hose charge are presented. Comparison of energy of explosions of a volume hose charge and cord charge of the type ESh-1 is conducted.

**Keywords:** fire-prevention break, volume hose charge, carbohydrate fuel.