

**А. М. ГРИШИН**, д-р физ.-мат. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры физической и вычислительной механики механико-математического факультета, Национальный исследовательский Томский государственный университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 36)

**В. П. ЗИМА**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования и прогноза катастроф механико-математического факультета, Национальный исследовательский Томский государственный университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 36)

**Д. П. КАСЫМОВ**, младший научный сотрудник лаборатории моделирования и прогноза катастроф механико-математического факультета, Национальный исследовательский Томский государственный университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 36; e-mail: denkasymov@gmail.com)

УДК 536.37

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ В УСТРОЙСТВАХ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ТУШЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

Приведены результаты теоретико-экспериментальных исследований, позволяющие утверждать, что локализацию и тушение пожаров можно осуществлять путем воздействия взрыва на наиболее уязвимые области фронта пожара, а именно на зоны пиролиза и зоны смешения продуктов пиролиза с кислородом воздуха. Рассмотрены разработки по способам и устройствам локализации и тушения природных пожаров, основанные на знании структуры пламени, включающего зоны сушки, нагрева, пиролиза, смешения с кислородом воздуха, воздействие на которые возможно относительно малыми энергетическими возмущениями (ударными волнами), что позволяет минимизировать вред, наносимый окружающей среде, экологии на участках, где проводятся противопожарные мероприятия. Показано, что использование на практике рассматриваемых технологических решений даст возможность повысить эффективность и оперативность мероприятий по борьбе с природными пожарами различной интенсивности.

**Ключевые слова:** физико-математическое моделирование; природные и техногенные катастрофы; сопряженные задачи механики; многофазная реагирующая среда; ударная волна; горение; эксперимент.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.07.52-60

### Введение

Актуальность изучения природных пожаров и способов борьбы с ними несомненна [1–3]. Как правило, природные пожары наносят значительный материальный и экономический ущерб [4–7].

В настоящее время известны и широко используются следующие основные способы борьбы с природными пожарами различной интенсивности [1]:

- 1) метод “захлестывания” фронта низового лесного пожара;
- 2) окапывание кромки лесного пожара грунтом для создания минерализованной полосы;
- 3) тушение водой с помощью переносных ранцевых лесных опрыскивателей (РЛО) и авиации;
- 4) отжиг лесного горючего материала (ЛГМ);
- 5) взрывные способы.

Все перечисленные приемы тушения с точки зрения механизма воздействия на лесной пожар мож-

но, в свою очередь, разделить на три группы: а) физико-механические; б) химические; в) локализация и тушение с использованием ударных волн, образующихся при подрыве зарядов взрывчатых веществ (ВВ) и пороховых зарядов (ПЗ) [8].

К первой группе относятся методы “захлестывания” и затирания кромки пожара ветками лиственных деревьев или вениками. Захлестывание применяют при слабом горении и на легких слабозадерненных почвах при отсутствии захламления. При этом ширина заградительных полос должна быть не менее 0,5 м [9].

К химическим методам борьбы следует отнести широко используемый на практике отжиг ЛГМ перед фронтом пожара [1].

Более эффективны способы третьей группы — локализация и тушение с использованием шнуровых зарядов типа ПЖВ-20 и ЭШ-1п [10]. При их подрыве достигается высокая степень формирова-

ния опорной минерализованной полосы. Существенным недостатком этих зарядов является низкая эффективность использования энергии взрыва ВВ, так как основная энергия при подрыве рассеивается в окружающей среде. Поэтому для формирования опорной минерализованной полосы необходимо значительное количество зарядов, что приводит к повышению материально-технических затрат и, соответственно, стоимости выполняемых работ.

### Новые разработки по локализации и тушению пожаров с использованием ВВ и пороховых зарядов, формирующих ударные волны

Анализ условий возникновения, распространения и потухания природных пожаров посвящено много работ [11–22]. В частности, в публикации [11] рассматривается структура фронта низового лесного пожара, так как такие пожары наиболее часто возникают в природе. Аналогичную им структуру имеют и остальные типы пожаров (верховые, степные). Установлено, что во фронте пожара (в факеле пламени) выделяется несколько зон: прогрева природных горючих материалов (ПГМ), сушки, пиролиза (газификации), смешения продуктов пиролиза с кислородом воздуха, горения газообразных и конденсированных продуктов [1]. Из всех перечисленных зон самыми неустойчивыми являются зоны пиролиза и смешения продуктов пиролиза с кислородом воздуха. Установлено, что если их разрушить, то процесс горения прекратится. Подобный подход к проблеме борьбы с природными пожарами, направленный на разрушение неустойчивых зон, позволяет сформулировать требования к новым способам и устройствам: это прежде всего безопасность пожарных, экологическая безопасность, связанная с сохранением природных материалов, простота и надежность устройств в исполнении, высокая эффективность [1, 8].

Проведены практические испытания с использованием шнуровых зарядов типа ПЖВ-20 и ЭШ-1п, позволившие подтвердить сформулированные в работе [10] положения относительно подобных способов борьбы с природными пожарами.

Эксперименты также показали, что воздействие ударных волн на зоны пиролиза и смешения приводит к усилению самих ударных волн, поскольку разрушение этих зон сопровождается нарастанием давления (рис. 1).

Этому эффекту усиления можно дать следующее объяснение. Поскольку процесс горения природных горючих материалов носит многостадийный характер [1], усиление действия взрыва при наличии фронта пожара может происходить за счет ускорения химического превращения газообразных продуктов пи-

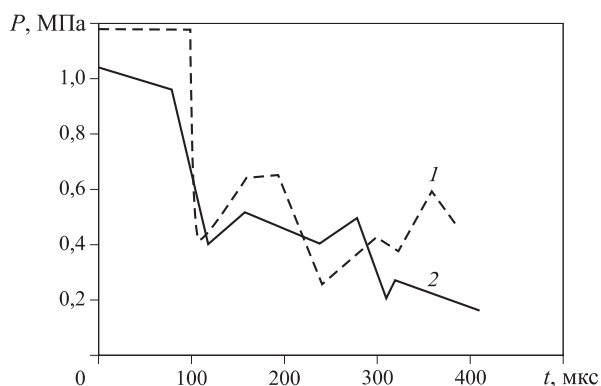


Рис. 1. Зависимости давления от времени при взрыве заряда при отсутствии (1) и наличии (2) пожара

ролиза. Всплески на кривых зависимости давления от времени возникают в результате воздействия на датчики отраженных от растительности ударных волн (см. рис. 1) [11]. Усиление ударной волны рассматривалось в работе [11] с помощью математического моделирования процесса подрыва цилиндрического удлиненного шнурового заряда. Анализ проводился на основе решений одномерной задачи в цилиндрической системе координат. Расчеты выполнялись для заряда аммонита ПЖВ-20. Для упрощения термохимической модели процесса считалось, что газовая фаза состоит из пяти компонентов ( $W = 5$ ):  $^1W_2$ ,  $^2O_2$ ,  $^3CO_2$ ,  $^4CO$ ,  $^5H_2O$  (где левый верхний индекс обозначает порядковый номер).

Распределение давления в момент после взрыва, когда ударная волна находится на расстоянии 1,5 м от места подрыва, приведено на рис. 2. Сравнение кривых 1–3 позволяет заключить, что интенсивность ударной волны, распространяющейся по разогретым газообразным горючим продуктам пиролиза (кривая 3), падает быстрее, чем в холодном воздухе (кривая 1), а интенсивность ударной волны, распространяющейся в продуктах пиролиза, с учетом химического превращения выше (кривая 2). Из рис. 2 видно,

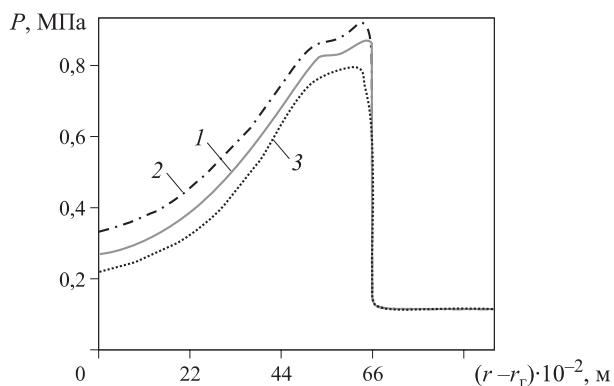


Рис. 2. Профили давления после взрыва цилиндрического заряда ПЖВ-20: 1 — в воздухе; 2 — в продуктах пиролиза с учетом химического превращения; 3 — то же, без учета химического превращения;  $r_r$  соответствует положению границы раздела продукты взрыва – продукты пиролиза

что именно инициирование химического превращения в газообразных продуктах пиролиза природных горючих материалов и является причиной усиления ударных волн при их воздействии на фронт пожаров.

### Научно-технические разработки устройств локализации пожаров

Рассматриваются следующие технические предложения:

- комбинированный способ локализации и тушения низовых лесных и степных пожаров [23];
- накладной шнуровой заряд для локализации и тушения [24];
- дезинтегратор фронта низового лесного пожара [25].

Предложен и запатентован комбинированный способ локализации и тушения низовых лесных и степных пожаров, заключающийся в том, что перед фронтом пожара на определенном расстоянии от него размещают на почве накладной шнуровой заряд. При приближении фронта горения к заранее отмеченному месту заряд подрывают и создают таким образом минерализованную заградительную полосу [23].

Способ реализуется следующим образом.

Пожарные в зоне лесного пожара определяют его интенсивность и классифицируют по типу: слабый, средней силы, сильный [1]. После этого оценивают высоту факела и перед фронтом на напочвенном покрове на безопасном от огня расстоянии устанавливают реперную вешку (рис. 3). В качестве реперной вешки может быть использован шест с флажком. Затем на напочвенном покрове 3 размещают накладной шнуровой заряд 1 на расстоянии  $l$  от вешки. Расстояние  $l$  должно быть таким, чтобы исключить разрушение материала оболочки заряда от воздействия тепловой волны и предотвратить несанкционированный подрыв заряда:

$$\frac{T_1 - T^*}{T_1 - T_0} \leq \frac{l}{H} < \frac{T_1 - \bar{T}}{T_1 - T_0},$$

- где  $T_1$  — температура пламени;  
 $T^*$  — температура разрушения оболочки заряда;  
 $T_0$  — температура окружающей среды;  
 $H$  — высота пламени;  
 $\bar{T}$  — температура зоны пиролиза.

При достижении передней кромкой фронта реперной вешки заряд подрывают с помощью электродетонатора. Подрыв заряда 1 и взрыв зоны пиролиза 4 ударной волной 6 приводят к срыву факела пламени и разрушению фронта пожара (см. рис. 3). Оставшиеся малые очаги горения 7 дотушивают с помощью дезинтегратора 8, описание и принцип работы которого даны в [26].



Рис. 3. Схема комбинированного способа локализации и тушения пожара: 1 — заряд ВВ; 2 — факел пламени; 3 — покров ПГМ; 4 — зона пиролиза; 5 — участок сгоревшего ПГМ; 6 — ударная волна; 7 — оставшиеся очаги пламени; 8 — дезинтегратор

Известно [27], что при подрыве заряда ВВ, кроме прямой ударной волны, при ее взаимодействии с грунтом формируется отраженная волна, перепад давления в которой определяется из соотношения

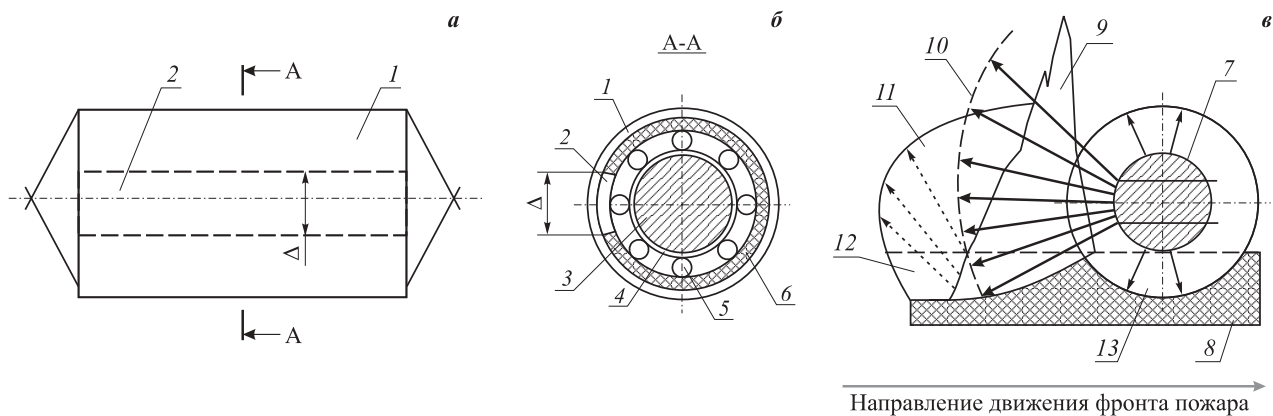
$$\Delta P_{отр} = \Delta P_{фр} \left( 2 + \frac{6}{1 + 7P_0/\Delta P_{фр}} \right),$$

где  $\Delta P_{фр}$  — перепад давления на фронте прямой ударной волны, МПа;

$P_0$  — давление продуктов взрыва, МПа.

Наибольший эффект формирования отраженной ударной волны достигается в этом случае при взаимодействии прямой ударной волны с поверхностью при ее подходе к поверхности под углом  $\varphi \approx 45^\circ$ . В [27] также отмечено, что при увеличении  $\varphi$  до  $60^\circ$  величина  $\Delta P_{отр}$  убывает и при  $\varphi = 90^\circ$   $\Delta P_{отр} = \Delta P_{фр}$ , а максимальное значение  $\Delta P_{отр}$  достигается при  $45^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ$ .

С учетом вышеизложенного для подрыва предлагается использовать накладной шнуровой заряд, описание которого приведено в работе [24], а конструктивное исполнение представлено на рис. 4.



**Рис. 4.** Накладной шнуровой заряд: *а* — общий вид; *б* — конструкция; *в* — схема действия продуктов взрыва на фронт пожара; 1 — внешняя эластичная оболочка; 2 — паз; 3 — патрон ВВ; 4 — бумажный стакан; 5 — силовые нити; 6 — оплетка; 7 — заряд в момент взрыва; 8 — напочвенный покров ПГМ; 9 — факел пламени; 10 — дальность действия струи; 11 — область действия ударной волны; 12 — сгоревший участок на подстилающей поверхности; 13 — минерализованная канавка

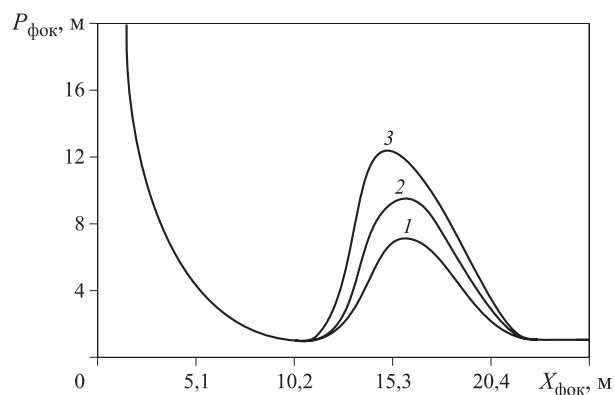
В предлагаемом шнуровом заряде в оплетке *б* по всей длине предусмотрен паз 2, глубина которого соответствует толщине оплетки. Наличие паза шириной  $\Delta$  позволяет дополнительно сформировать отраженную ударную волну 11. Эффективность действия продуктов взрыва на очаг горения за счет этого возрастает. При этом ширина паза  $\Delta$  выбирается из соотношения  $\Delta = (0,3 \div 0,5)r$  (где  $r$  — радиус заряда, м), что соответствует изменению угла  $\varphi$  в указанном в работе [27] диапазоне. Прочность конструкции заряда обеспечивается внешней эластичной оболочкой 1, в которую помещается заряд.

На месте проведения работ по локализации низового лесного или степного пожара перед надвигающимся фронтом разворачивается на напочвенном покрове 8 предлагаемый шнуровой заряд. Он укладывается таким образом, чтобы паз 2 (см. рис. 4) был ориентирован в сторону фронта пожара. При подходе фронта к заряду последний подрывается электродетонатором дистанционно либо с помощью детонационного шнура (ДШ). Образующиеся при подрыве заряда газы 7 создают давление в сотни атмосфер [27], в результате чего происходит разрушение элементов конструкции заряда. Первой разрушается внешняя эластичная оболочка 1 в области паза 2 (см. рис. 4), а остальные элементы конструкции (оплетка 6, силовые нити 5 и бумажный стакан 4) — с запозданием. Продукты взрыва заряда и возникающая при этом ударная волна первоначально устремляются через паз 2, формируя струю, направленную в сторону очага горения на подстилающую поверхность 8. Направленное действие ударной волны обеспечивает срыв факела пламени 9, а горящий ПГМ сбрасывается в сторону прогоревшего участка 12. Отраженная ударная волна дополнительно усиливает сдвиг горящего ПГМ, что приводит к разрушению фронта горения и формированию минерализованной канавки 13.

В соответствии с новой концепцией борьбы с лесными пожарами и с учетом структуры факела пламени можно создавать устройства, позволяющие малыми энергетическими возмущениями разрушать наиболее уязвимую часть пламени — зону пиролиза и смешения. Для этих целей можно использовать устройство, рассмотренное в работе [26]. Известно, что фокусирование ударных волн применяется в различных областях науки и техники [28–30].

На рис. 5 приведены зависимости амплитуды сфокусированной ударной волны  $P_{\text{фок}}$  от расстояния до зоны фокусировки  $X_{\text{фок}}$  для трех вариантов фокусирующего эллипса различной длины.

Из рис. 5 видно, что с увеличением длины эллипса  $l$ , сфокусированная ударная волна (ее значение) возрастает. Апробация этого эффекта проводилась в натуральных условиях на полигоне с использованием устройства, представляющего собой модифицированный вариант стрелкового оружия, непригодного к применению по основному назначению (рис. 6). Формирование ударной волны в устройстве осуществляется с помощью насадка. Пороховой заряд 1



**Рис. 5.** Зависимость амплитуды сфокусированной ударной волны от расстояния до зоны фокусировки для трех вариантов фокусирующего эллипса различной длины: 1 —  $6,11 \cdot 10^{-2}$  м; 2 —  $8,8 \cdot 10^{-2}$  м; 3 —  $11,44 \cdot 10^{-2}$  м

Данные натуральных испытаний [14]

Тип насадки	Диаметр сечения, мм	Глубина захвата, м		Ширина захвата, м		Эффективная дальность воздействия $L$ , м	
		$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 45^\circ$
Конусный	5	0,75	0,55	0,40	0,40	1,2	1,2
Параболический	5	0,80	0,60	0,55	0,45	1,2	1,2
	3	0,50	0,35	0,30	0,30	1,2	1,0

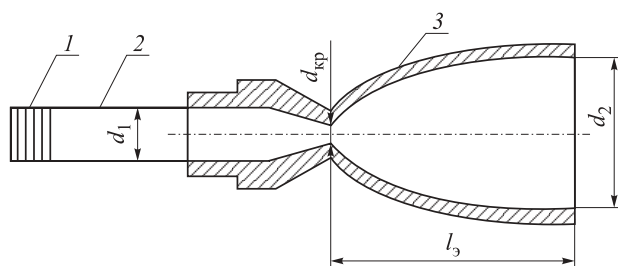


Рис. 6. Устройство для локализации и тушения низовых лесных пожаров [12]: 1 — заряд пороха; 2 — ствол; 3 — насадок

воспламеняется, образующиеся высокотемпературные продукты проходят по стволу 2 и попадают в насадок 3. Форма насадка способствует формированию усиленной ударной волны, оказывающей воздействие на зону пиролиза. Следует отметить, что выходной диаметр сопла  $d_2$  меняется в пределах  $18 \cdot 10^{-3} < d_2 < 40 \cdot 10^{-3}$  м при диапазоне входного диаметра сопла  $3 \cdot 10^{-3} < d_{кр} < 6 \cdot 10^{-3}$  м. Данные значения подбирались в результате проведения опытов на полигоне в условиях, близких к реальным [27].

Экспериментальная проверка действия модели источника малых энергетических возмущений, имеющего фокусирующий насадок, на фронт низового лесного пожара отражена в работе [28]. Результаты экспериментов представлены в таблице.

Апробировалось три типа насадков. Анализ результатов испытаний показал, что насадок с парабо-

лической внутренней полостью и диаметром критического сечения  $d_{кр} = 5 \cdot 10^{-3}$  м имеет хорошие характеристики. Эксперименты подтвердили возможность применения подобного устройства при тушении низовых лесных пожаров малой и средней интенсивности [28].

### Заключение

В соответствии с новой концепцией борьбы с лесными пожарами и с учетом структуры факела пламени в данной работе рассмотрены разработки по локализации и тушению верховых, низовых лесных и степных пожаров. Применение и учет представленных способов и методик позволят повысить оперативность и эффективность мероприятий по борьбе с природными и техногенными катастрофами.

\*\*\*

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 14-01-00211\_a, 15-01-00513\_a, 15-31-20314\_мол\_a\_вед), программы повышения конкурентоспособности ТГУ (Tomsk State University Competitiveness Improvement Program), научного проекта (№ 8.1.27.2015), выполненного при поддержке программы “Научный фонд Томского государственного университета им. Д. И. Менделеева” в 2015 г.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. — Новосибирск : Наука, 1992. — 408 с.
2. Гришин А. М., Цимбалюк А. Ф. Математическое моделирование срыва лесных горючих материалов в результате взрыва шнурового заряда взрывчатого вещества // ФГВ. — 2006. — Т. 42, № 3. — С. 92–99.
3. James H. Speer. A Review of “Living with fire: fire ecology and policy for the twenty-first century” // The Professional Geographer. — 2010. — Vol. 62, Issue 1. — P. 137–138. DOI: 10.1080/00330120903446430.
4. National Interagency Fire Center. Year-to-date statistics 2013. URL : <http://www.nifc.gov/fireInfo/nfn.htm> (дата обращения: 16.02.2015).
5. Воробьев Ю. Л. Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы. — М. : ДЭКС-Пресс, 2004. — 312 с.
6. Царев В. А. Экономический ущерб, нанесенный природными пожарами в России в 2010 году // Лесотехнический журнал. — 2012. — № 3. — С. 147–155.
7. Sullivan A. L. Chapter 5 — Grassland fire management in future climate / Donald L. Sparks (ed.). Advances in Agronomy // Academic Press. — 2010. — Vol. 106. — P. 173–208. DOI: 10.1016/S0065-2113(10)06005-0.

8. Курбатский Н. П., Валендик Э. Н. Локализация лесных пожаров накладными шнуrowыми зарядами. — Красноярск : Изд-во “Красноярский рабочий”, 1970. — С. 320–332.
9. Охрана и защита леса. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — М. : Лесная промышленность, 1969. — 408 с.
10. Пат. 2345806 С2 Российская Федерация. МПК А62С 3/02 (2006.01), А01G 23/00 (2006.01). Способ локализации низового лесного пожара / Гришин А. М., Зима В. П. — № 2007106509/12; заявл. 27.08.2008; опубл. 10.02.2009, Бюл. № 4.
11. Гришин А. М., Ковалев Ю. М. Об усилении ударных волн при взаимодействии с фронтом лесного пожара // Доклады АН СССР. — 1990. — Т. 312, № 1. — С. 50–54.
12. Кузнецов В. Т., Фильков А. И. Воспламенение различных видов древесины потоком лучистой энергии // ФГВ. — 2011. — Т. 47, № 1. — С. 74–79.
13. Пат. 2508141 С1 Российская Федерация. МПК А62С 3/02 (2006.01). Способ предотвращения распространения лесного пожара / Каблов В. Ф., Суркаев А. Л., Благинин С. И. — № 2012151462/12; заявл. 30.11.2012; опубл. 27.02.2014, Бюл. № 6.
14. Lowden L., Hull T. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction // Fire Science Reviews. — 2013. — Vol. 2, No. 4. — P. 1–19. DOI: 10.1186/2193-0414-2-4.
15. Maranghides A., Mell W. Framework for Addressing the National Wildland Urban Interface Fire Problem — Determining Fire and Ember Exposure Zones using a WUI Hazard Scale. — Gaithersburg, Maryland, USA : National Institute of Standards and Technology, 2013. DOI: 10.6028/nist.tn.1748.
16. Morandini F., Silvani X. Experimental investigation of the physical mechanisms governing the spread of wildfires // International Journal of Wildland Fire. — 2010. — Vol. 19, No. 5. — P. 570–582. DOI: 10.1071/wf08113.
17. BFRl Initiates Studies of Wildland / Urban Interface (WUI) Fires, BFRl Activities, Accomplishments and Recognitions, 2004–2005. URL : <http://www.bfrl.nist.gov/Annual/2004-2005/BFRl06.pdf> (дата обращения: 20.01.2014).
18. Flannigan M. D., Stocks B. J., Wotton B. M. Climate change and forest fires // Science of the Total Environment. — 2000. — Vol. 262, Issue 3. — P. 221–229. DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00524-6.
19. Rinieri F., Balbi J.-H., Santoni P.-A. On the use of an infra-red camera for the measurement of temperature in fires of vegetative fuels. URL : <http://qirt.gel.ulaval.ca/archives/qirt2006/papers/011.pdf> (дата обращения: 12.02.2015).
20. Mell W. E., Manzello S. L., Maranghides A., Butry D., Rehm R. G. The wildland-urban interface fire problem — current approaches and research needs. International Journal of Wildland Fire. — 2010. — No. 19. — P. 238–251. DOI: 10.1071/WF07131.
21. Filkov A. I., Kuzin A. Ya., Sharypov O. V., Leroy-Cancellieri V., Cancellieri D., Leoni E., Simeoni A., Rein G. Comparative study to evaluate the drying kinetics of Boreal peats from micro to macro scales // Energy & Fuels. — 2012. — Vol. 26, No. 1. — P. 349–356. DOI: 10.1021/ef201221y.
22. Leroy-Cancellieri V., Cancellieri D., Leoni E., Simeoni A., Filkov A. I. Energetic potential and kinetic behavior of peats // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. — 2014. — Vol. 117, No. 3. — P. 1497–1508. DOI: 10.1007/s10973-014-3912-2.
23. Пат. 2458716 С1 Российская Федерация. МПК А62С 3/02 (2006.01). Комбинированный способ локализации и тушения низовых лесных и степных пожаров / Гришин А. М., Зима В. П. — № 2011110659/12; заявл. 21.03.2011; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23.
24. Пат. 2496539 Российская Федерация. МПК А62С 3/02. Накладной шнуrowой заряд для локализации низовых лесных и степных пожаров / Гришин А. М., Зима В. П. — № 2012118846; заявл. 05.05.2012; опубл. 27.10.2013.
25. Свидетельство ПМ 10582 Российская Федерация. Дезинтегратор фронта низового лесного пожара с огнегасящим патроном / Гришин А. М., Зима В. П. — № 98120291; заявл. 02.11.1998; опубл. 16.08.1998, Бюл. № 8.
26. Свидетельство ПМ 12975. МПК А62С 3/02. Устройство для локализации низового лесного пожара и быстрого отжига лесных горючих материалов / Гришин А. М., Зима В. П., Медведев А. В. — № 98120290; заявл. 02.11.1998; опубл. 20.03.2000, Бюл. № 8.
27. Покровский Г. И. Взрыв. — М. : Недра, 1980. — 189 с.
28. Гришин А. М., Голованов А. Н., Зима В. П., Самойлов В. И., Цимбалюк А. Ф. Эксплуатация дезинтеграторов при тушении низовых лесных пожаров // Избранные доклады международной конференции “Математическое и физическое моделирование сопряженных задач механики реагирующих сред и экологии”. — Томск : Изд-во Томского гос. ун-та, 2000. — С. 97–101.
29. Гуляев В. И., Иванченко Г. М. Фокусировка и рассеивание плоских ударных волн на поверхности раздела анизотропных упругих сред // ПМТФ. — 2002. — Т. 43, № 5. — С. 20–27.

30. Ануфриев И. С., Голованов А. Н., Цимбалюк А. Ф., Шарыпов О. В. Динамика ударных волн в осесимметричных каналах с конфузорами // Вестник НГУ. Серия: Физика. — 2009. — Т. 4, вып. 2. — С. 13–18.

*Материал поступил в редакцию 17 февраля 2015 г.*

**Для цитирования:** Гришин А. М., Зима В. П., Касымов Д. П. Применение взрывчатых веществ в устройствах локализации и тушения природных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 7. — С. 52–60. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.52-60.

English

## USING EXPLOSIVE MATERIALS IN DEVICES OF LOCALIZATION AND EXTINGUISHING OF WILDLAND FIRES

**GRISHIN A. M.**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Honored Scientist of Russian Federation, Professor at the Department of Physical and Computational Mechanics, National Research Tomsk State University (Lenina Avenue, 36, Tomsk, 634050, Russian Federation)

**ZIMA V. P.**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Laboratory of Modeling and Prediction of Disasters, Mechanics and Mathematics Faculty, National Research Tomsk State University (Lenina Avenue, 36, Tomsk, 634050, Russian Federation)

**KASYMOV D. P.**, Low Researcher of Laboratory of Modeling and Prediction of Disasters, Mechanics and Mathematics Faculty, National Research Tomsk State University (Lenina Avenue, 36, Tomsk, 634050, Russian Federation); e-mail address: denkasymov@gmail.com)

### ABSTRACT

Theoretical and experimental studies, conducted at Tomsk State University, have allowed to determine the structure of the wildfire flame. The pyrolysis zones and the zones containing the pyrolysis products and oxygen were found to be the most unstable during combustion of natural high-molecular compounds such as needle litter, herbage, and timber. In this case, if these zones are subjected to the shock waves, then they will be destroyed and the process of combustion will stop.

At the same time, the theoretical and experimental studies have shown that the shock waves lead to an increase in pressure in the unstable zones during interaction with these zones, which increases the efficiency of extinguishing a fire.

This approach directed to the destruction of unstable zones allows to create the new technical methods and devices for providing the safety of fireman-operators, the environmental safety through conservation of natural resources, and the high efficiency. Similar requirements are met by blasting methods: combined method of localization and suppression of ground forest and steppe fires; line charge for localization and suppression of fires, as well as a disintegrator of a ground forest fire front, technical description and characteristics which are presented in this paper.

**Keywords:** physical and mathematical modeling; natural and technogenic catastrophes; conjugated problems of mechanics; multiphase reacting media; shock wave; combustion; experiment.

### REFERENCES

1. Grishin A. M. Matematicheskoye modelirovaniye lesnykh pozharov i novyye sposoby borby s nimi [Mathematical modeling of forest fires and new methods of fighting them]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1992. 408 p.
2. Grishin A. M., Tsimbalyuk A. F. Mathematical modeling of the stripping of combustible forest materials by explosion of a cord charge. *Combustion, Explosion and Shock Waves*, May 2006, vol. 42, issue 3, pp. 329–335. DOI: 10.1007/s10573-006-0059-x.
3. James H. Speer. A Review of "Living with fire: fire ecology and policy for the twenty-first century". *The Professional Geographer*, 2010, vol. 62, issue 1, pp. 137–138. DOI: 10.1080/00330120903446430.

4. National Interagency Fire Center. *Year-to-date statistics 2013*. Available at: <http://www.nifc.gov/fire-Info/nfn.htm> (Accessed 16 February 2015).
5. Vorobyev Yu. L. *Lesnyye pozgary na territorii Rossii: sostoyaniye i problemy* [Forest fires in Russia: condition and problems]. Moscow, DEKS-Press Publ., 2004. 312 p.
6. Tsarev V. A. Ekonomicheskiy ushcherb, nanesenny prirodnymi pozharemi v Rossii v 2010 godu [Economic damage caused by natural fires in Russia in the year 2010]. *Lesotekhnicheskii zhurnal — Forestry Engineering Journal*, 2012, no. 3, pp. 147–155.
7. Sullivan A. L. Chapter 5 — Grassland fire management in future climate. In: Donald L. Sparks (ed.). *Advances in Agronomy*. Academic Press, 2010, vol. 106, pp. 173–208. DOI: 10.1016/S0065-2113(10)06005-0.
8. Kurbatskiy N. P., Valendik E. N. *Lokalizatsiya lesnykh pozharov nakladnymi shnurovymi zaryadami* [Isolating forest fires by pressure cord charges]. Krasnoyarsk, Krasnoyarskiy rabochiy Publ., 1970, pp. 320–332.
9. *Okhrana i zashchita lesa. Izd. 3-e* [Forest protection. 3<sup>rd</sup> ed.]. Moscow, Lesnaya promyshlennost Publ., 1969. 408 p.
10. Grishin A. M., Zima V. P. *Method of surface forest fire containment*. Patent RF, no. 2345806, 10.02.2009 (in Russian).
11. Grishin A. M., Kovalev Yu. M. Ob usilenii udarnykh voln pri vzaimodeystvii s frontom lesnogo pozhara [Strengthening of blast waves during interaction with the front of forest fires]. *Dokl. Akad. Nauk SSSR — Reports of the Academy of Sciences of USSR*, 1990, vol. 312, no. 1, pp. 50–54.
12. Kuznetsov V. T., Fil'kov A. I. Ignition of various wood species by radiant energy. *Fizika goreniya i vzryva — Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2011, vol. 47, issue 1, pp. 65–69. DOI: 10.1134/s0010508211010096.
13. Kablov V. F., Surkaev A. L., Blagin S. I. *Method of prevention of spread of forest fire*. Patent RF, no. 2508141, 27.02.2014 (in Russian).
14. Lowden L., Hull T. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. *Fire Science Reviews*, 2013, vol. 2, no. 4, pp. 1–19. DOI: 10.1186/2193-0414-2-4.
15. Maranghides A., Mell W. *Framework for Addressing the National Wildland Urban Interface Fire Problem — Determining Fire and Ember Exposure Zones using a WUI Hazard Scale*. Gaithersburg, Maryland, USA, National Institute of Standards and Technology, 2013. DOI: 10.6028/nist.tn.1748.
16. Morandini F., Silvani X. Experimental investigation of the physical mechanisms governing the spread of wildfires. *International Journal of Wildland Fire*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 570–582. DOI: 10.1071/wf08113.
17. *BFRL Initiates Studies of Wildland Urban Interface (WUI) Fires, BFRL Activities, Accomplishments and Recognitions, 2004–2005*. Available at: <http://www.bfrl.nist.gov/Annual/2004-2005/BFRL06.pdf> (Accessed 20 January 2014).
18. Flannigan M. D., Stocks B. J., Wotton B. M. Climate change and forest fires. *Science of the Total Environment*, 2000, vol. 262, issue 3, pp. 221–229. DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00524-6.
19. Rinieri F., Balbi J.-H., Santoni P.-A. *On the use of an infra-red camera for the measurement of temperature in fires of vegetative fuels*. Available at: <http://qirt.gel.ulaval.ca/archives/qirt2006/papers/011.pdf> (Accessed 12 February 2015).
20. Mell W. E., Manzello S. L., Maranghides A., Butry D., Rehm R. G. The wildland-urban interface fire problem — current approaches and research needs. *International Journal of Wildland Fire*, 2010, no. 19, pp. 238–251. DOI: 10.1071/WF07131.
21. Filkov A. I., Kuzin A. Ya., Sharypov O. V., Leroy-Cancellieri V., Cancellieri D., Leoni E., Simeoni A., Rein G. A comparative study to evaluate the drying kinetics of Boreal peats from micro to macro scales. *Energy & Fuels*, 2012, vol. 26, no. 1, pp. 349–356. DOI: 10.1021/ef201221y.
22. Leroy-Cancellieri V., Cancellieri D., Leoni E., Simeoni A., Filkov A. I. Energetic potential and kinetic behavior of peats. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2014, vol. 117, no. 3, pp. 1497–1508. DOI: 10.1007/s10973-014-3912-2.
23. Grishin A. M., Zima V. P. *Combined method of isolation and extinguishing creeping forest and grassland fires*. Patent RF, no. 2458716, 20.08.2012 (in Russian).
24. Grishin A. M., Zima V. P. *Superimposed pull-cord charge for localization of ground forest and steppe fires*. Patent RF, no. 2496539, 27.10.2013 (in Russian).
25. Grishin A. M., Zima V. P. *Disintegrator of the front of a ground forest fire with a fire-extinguishing cartridge*. Inventor's Certificate RF, no. 10582, 16.08.1998 (in Russian).
26. Grishin A. M., Zima V. P., Medvedev A. V. *Device for localization of a ground forest fire and fast burning of forest combustible materials*. Inventor's Certificate RF, no. 12975, 20.03.2000 (in Russian).



27. Pokrovskiy G. I. *Vzryv* [Explosion]. Moscow, Nedra Publ., 1980. 189 p.
28. Grishin A. M., Golovanov A. N., Zima V. P., Samoylov V. I., Tsimbalyuk A. F. Ekspluatatsiya dezintegratorov pri tushenii nizovykh lesnykh pozharov [Experimental trial of the disintegrator model on the front of a ground forest fire]. *Izbrannyye doklady mezhdunarodnoy konferentsii "Matematicheskoye i fizicheskoye modelirovaniye sopryazhennykh zadach mekhaniki reagiruyushchikh sred i ekologii"* [Selected Papers of Int. Conf. "Mathematical and Physical Modeling of Conjugate Problems of the Mechanics of Reactive Media and Ecology"]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 2000, pp. 97–101.
29. Gulyaev V. I., Ivanchenko G. M. Focusing and Scattering of Plane Shock Waves at an Interface between Anisotropic Elastic Media. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2002, vol. 43, no. 5, pp. 654–660. DOI: 10.1023/a:1019875400067.
30. Anufriev I. S., Golovanov A. N., Tsimbalyuk A. F., Sharypov O. V. Dinamika udarnykh voln v osesimmetrichnykh kanalakh s konfuzorami [*Dynamics of shock waves in the cylindrical channel with confusers*]. *Vestnik NGU. Seriya: Fizika — Bulletin of the NSU. Series: Physics*, 2009, vol. 4, issue 2, pp. 13–18.

**For citation:** Grishin A. M., Zima V. P., Kasymov D. P. Primeneniye vzryvchatykh veshchestv v ustroystvakh lokalizatsii i tusheniya prirodnnykh pozharov [Using explosive materials in devices of localization and extinguishing of wildland fires]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 7, pp. 52–60. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.52-60.



## Издательство «ПОЖНАУКА»

Предлагает книгу

Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой  
**ОГНЕТУШИТЕЛИ.**

**УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ**



В учебном пособии приведены классификация огнетушителей и конструкции основных их типов, средства тушения, используемые для зарядки огнетушителей, виды огнетушителей и правила их применения для ликвидации загораний различных веществ, рекомендации по расчету необходимого количества огнетушителей для разных объектов, по их размещению, хранению и техническому обслуживанию.

Рекомендации, содержащиеся в книге, разработаны на основе современных нормативных документов, регламентирующих конструкцию, условия применения, правила эксплуатации и технического обслуживания огнетушителей.

Учебное пособие рассчитано на широкий круг читателей: инженерно-технических работников предприятий и организаций, ответственных за оснащение объектов огнетушителями, поддержание их в работоспособном состоянии и своевременную перезарядку; преподавателей курсов пожарно-технического минимума и дисциплины "Основы безопасности жизнедеятельности" в средних и высших учебных заведениях; частных лиц, выбирающих огнетушитель для обеспечения безопасности квартиры, дачи или автомобиля.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru