

УДК 614.8

*К.В. Корытченко, канд. техн. наук, с.н.с., НТУ «ХПИ»,
С.А. Вамболь, канд. техн. наук, доцент, НУГЗУ,
Ю.А. Скоб, канд. техн. наук, доцент, НАКУ «ХАИ»,
М.Л. Угрюмов, д-тор техн. наук, профессор, НАКУ «ХАИ»,
А.А. Назаренко, зам. нач. ОКЦ, ГУ МЧС в АР Крым*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛАСТИ ОБРЫВА ЛГМ, ФОРМИРУЕМОЙ ПРИ ВЗРЫВЕ ТОПЛИВОВОЗДУШНЫХ ЗАРЯДОВ В ЛЕСНОМ ФИТОЦЕНОЗЕ

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

В работе проведена оценка эффективности способа локализации пожаров взрывом путем математического моделирования области обрыва лесо-горючих материалов (ЛГМ), формируемой при взрыве топливовоздушных зарядов в лесном фитоценозе. Задача рассмотрена с точки зрения механики сплошных сред согласно методики, предложенной А.М. Гришиным. Представлены результаты расчета размеров области обрыва ЛГМ, формируемой при взрыве топливовоздушного заряда диаметром 1,3 м над кронами деревьев.

Ключевые слова: минерализованная полоса, объемный взрыв, локализация пожаров.

Постановка проблемы. Несмотря на высокий уровень развития техники пожаротушения, до настоящего времени существует проблема в создании средств, позволяющих автономно, с высокой производительностью и малыми затратами осуществлять тушение крупных лесных пожаров. Поэтому периодически возникающие крупные лесные пожары продолжают наносить большие потери и остаются источником возникновения пожаров других типов.

Тушение пожара на больших площадях в условиях изменения направления ветра требует перераспределение сил и средств, что достижимо только при наличии мобильных средств доставки и тушения. Требованиям автономности и мобильности удовлетворяют средства локализации и тушения взрывом, размещенные на транспортных машинах. Это делает их особенно привлекательными для решения задачи тушения крупных лесных пожаров в случае значительного удаления очагов пожара от источников воды.

Применение способа локализации пожаров взрывом требует оценки его эффективности, определяемой параметрами заряда. В

данной работе оценка эффективности проведена путем математического моделирования области обрыва лесо-горючих материалов (ЛГМ), формируемой при взрыве топливовоздушных зарядов в лесном фитоценозе.

Анализ последних достижений и публикаций. В работах Гришина А.М. [1, 2] разработана концепция борьбы с лесными пожарами путем относительно малых энергетических воздействий. Требования к способам тушения по данной концепции заключаются в обеспечении безопасности лесных пожарных, экологической безопасности, простоты, малой стоимости, надежности и высокой эффективности. Автор отмечает, что в какой-то мере данные требования противоречат друг другу. И поэтому не существует универсального способа борьбы с различными типами лесных пожаров. К новым эффективным способам, частично удовлетворяющей разработанной концепции, Гришин А.М. отнес способы локализации и тушения лесных пожаров с помощью взрывных и ударных волн. Результаты теоретических и экспериментальных исследований, представленные в работе [1], дают оценку эффективности воздействия ударных волн на растительность и фронт лесного пожара применительно к взрывам шланговых зарядов конденсированных взрывчатых веществ (заряды ЭШ-1П и ПЖВ-20). Полученные результаты подтвердили эффективность взрывного способа, позволяющего с высокой производительностью, простотой, относительно малой стоимостью решать задачи локализации и тушения лесных пожаров. Преимущества данного способа также заключаются в возможности его применения на большом удалении от источников воды. В случае расположения шланговых зарядов на удалении от стволов деревьев происходит обрыв только тонких веточек и хвоинок. Но при контактном взрыве заряда наблюдается выворачивание деревьев и обрыв крупных веток, что приводит к снижению эффективности способа.

Дальнейшее развитие взрывного способа локализации и тушения лесных пожаров сделано в работах Ревы Г.В. [3], Подгорного А.Л. и других, где решалась задача получения направленного взрыва за счет применения отражателей.

Качественно иная эффективность взрывного способа достигается в случае применения зарядов на основе топливовоздушных смесей. Экспериментальные исследования этого способа по тушению низовых лесных пожаров были проведены научными подразделениями Института танковых войск (Корытченко К.В.) и Университета гражданской защиты Украины (Дубинин Д.П.). Было установлено, что в результате взрыва происходит сдувание только тонких веточек,

что позволяет природе быстро восстановить растительный массив после пожара, а также не происходит загрязнение окружающей среды в случае применения распространенных топлив и специальной оболочки [4]. Дальнейшее теоретическое исследование воздействия ударной волны на лесной фитоценоз вблизи земной поверхности проводилось с привлечением специалистов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е.Жуковского «ХАИ» [4].

Переход пожара из низовой стадии в верховую требует иной техники применения способа локализации взрывом и, соответственно, дополнительных исследований. Поэтому актуальной проблемой является решение задачи оптимизации размеров зарядов топливовоздушных смесей, количества, места их расположения в зависимости от размеров и плотности лесного фитоценоза в лесном массиве. В данной работе рассмотрены подходы по моделированию области обрыва ЛГМ, формируемой при взрыве топливовоздушных зарядов в лесном фитоценозе.

Постановка задачи. Устойчивый верховой пожар появляется вследствие зарождения низового пожара, после того, как пламя низового пожара поджигает кроны деревьев [5]. В верховом пожаре сгорает хвоя, листья, мелкие и более крупные ветви. Переходу низового пожара на полог древостоя способствует сильный ветер, насаждения с низко опущенными кронами и обильный хвойный подрост. Установлено, что при распространении низового пожара вверх по склону, он очень часто переходит в верховой [5]. При верховом устойчивом пожаре огонь распространяется по кронам только по мере продвижения кромки низового пожара. В условиях сильного ветра возникает верховой беглый пожар, который распространяется по кронам деревьев «скачками», опережая фронт низового пожара. Ветер также разносит горящие ветви, другие мелкие горящие объекты и искры, которые создают новые очаги низовых пожаров на сотни метров вперед от основного очага. В ряде случаев огонь «перебрасывается» указанным способом через реки, широкие дороги, безлесные участки и другие возможные рубежи, созданные для локализации пожара.

Исходя из характера распространения верхового пожара, техника тушения с использованием топливовоздушного взрыва должна заключаться в создании в лесном фитоценозе в кронах деревьев области без хвои, листьев и мелких веток. Эти область в виде полос необходимо чередовать на определенном смещении с минерализованными полосами (рис. 1). То есть, один или несколько шланговых зарядов необходимо располагать на земной поверхности на подстилке леса с целью создания минерализованной полосы для отсечения ни-

зового пожара, а локализацию верхового пожара обеспечивать взрывом одного или нескольких зарядов, расположенных поверх крон деревьев.

В данной работе проведено исследование воздействия взрыва топливовоздушного шлангового заряда в случае его расположения поверх крон деревьев.

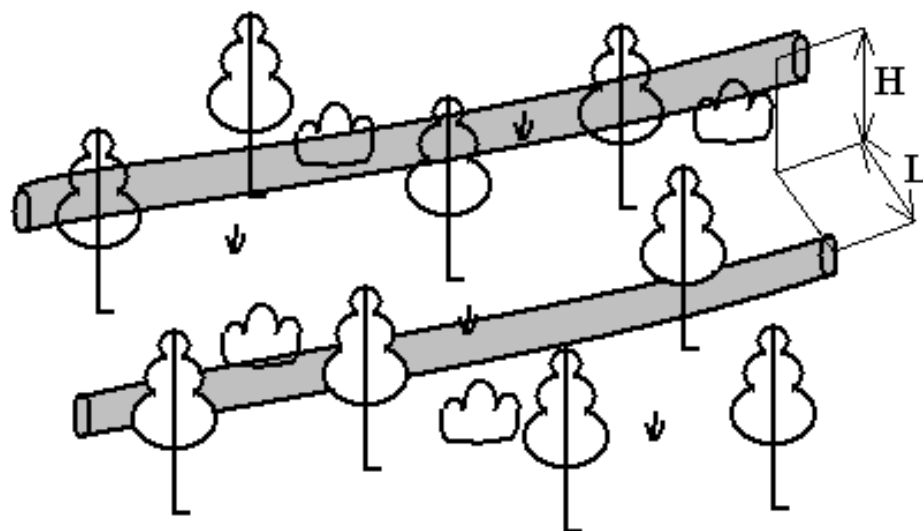


Рис. 1. – Схема тушения лесного пожара, имеющего верховую и низовую стадии: L – относительное смещение зарядов вдоль земной поверхности, H – высота расположения заряда, обеспечивающего локализацию верхового пожара

Проведем оценку размеров области обрыва ЛГМ, получаемой при взрыве топливовоздушных шланговых зарядов разных диаметров при их расположении поверх крон деревьев. В таком случае расчет сводится к установлению области, в которой скачек давления в ударной волне на период распространения в лесном фитоценозе превышает критический. Под критическим скачком давления в данном случае понимается экспериментально установленный перепад давления, при котором достигается степень обрыва лесо-горючих материалов более, чем на 75 %. По данным работы [1], эта величина в сосновых молодняках составляет $\Delta P = 0,4 \cdot 10^5$ Па.

В случае произвольного расположения заряда поверх деревьев часть участков шлангового заряда расположится над кронами деревьев, а другие его участки попадут между кронами. Усредняя месторасположение заряда в лесном фитоценозе, примем следующую расчетную схему (рис. 2). На приведенном рисунке представлена схема расположения заряда в фитоценозе при его поперечном и продольном сечении. Заряд диаметром d располагается наполовину уг-

лубленным в кроны деревьев по отношению к средней их высоте. Среднее расстояние между верхними и нижними кронами составляет h . Среднее расстояние между нижними кронами и земной поверхностью равняется H . В результате оценки дальнобойности взрывного действия при таком расположении заряда требуется установить область превышения критического давления вдоль линии нижней кромки деревьев. Очевидно, что ширина полосы обрыва ЛГМ по всей высоте кромок деревьев будет определяться не только диаметром заряда но средним расстоянием между верхними и нижними кронами h . А высота H будет влиять на плотность распределения оборванных ЛГМ на земной поверхности.

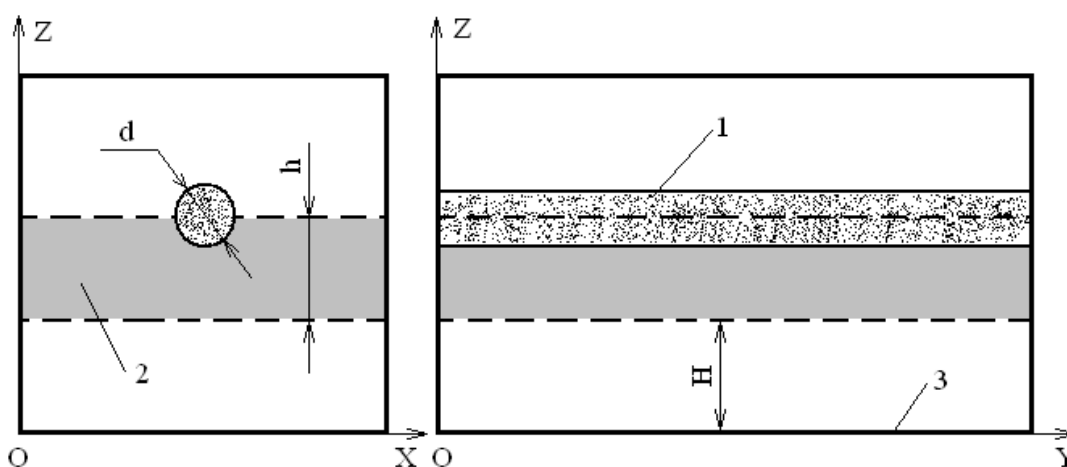


Рис. 2. – Схема расположения заряда принятая в расчетах: 1 – топливовоздушный шланговый заряд, 2 – область кронок деревьев, 3 – земная поверхность

В работе [6], установлено, что при цилиндрическом взрыве конденсированных взрывчатых веществ закон падения давления до скачка давления во фронте волны $\Delta P \approx 10^6$ Па имеет вид:

$$\Delta P \sim r^{-\frac{3}{2}}, \quad (1)$$

где r – радиус от центра взрыва до ударной волны.

Данная формула (1) не может быть применена для расчета области обрыва ЛГМ так как в результате детонации топливовоздушных смесей среднее давление продуктов детонации достигает порядка 10^6 Па.

В работе [7] на основании обобщения результатов теоретических и экспериментальных данных по взрывам топливовоздушных смесей сферической формы получено, что для параметров воздушных ударных волн, образующихся при детонации в воздухе, существ-

вует общий закон подобия. Применяя данный закон, зависимость безразмерного избыточного давления от расстояния в безразмерных координатах для различных составов газовой смеси и при разной массе детонирующего газа имеет вид [7]:

$$\bar{p} = 0,285 \frac{\exp[0,52(\ln(\bar{R}))^2]}{\bar{R}}, \quad (2)$$

где $\bar{p} = \Delta P / p_0$ – безразмерное избыточное давление, p_0 – начальное давление в атмосфере, $\bar{R} = R / R_0$ – безразмерное расстояние, R – расстояние от центра взрыва, $R_0 = (E_0 / p_0)^{1/3}$, $E_0 = mQ$ – энергия взрывного превращения, Q – удельная теплота взрыва топливовоздушной смеси, m – масса газового облака.

Авторы указывают, что несферическая форма облака, отличия в составе смеси приводят к отклонению реального избытка давления от расчетного на 10-15%.

Так как выражение (2) применимо к расчету избытка давления для ударной волны, распространяющейся в воздухе, то правильность результатов оценки избытка давления по данному выражению для расчета распространения ударной волны в лесном фитоценозе вызывает сомнения. Учитывая, что лесной фитоценоз представляет собой среду более повышенного сопротивления течению газового потока, то данное выражение позволяет дать ориентировочную оценку максимального радиуса области обрыва ЛГМ.

Для получения более точной оценки размеров области обрыва ЛГМ данная задача рассмотрена с точки зрения механики сплошных сред согласно методики, предложенной в работе [4].

Расчеты проводились с использованием автоматизированной компьютерной системы FIRE [8].

Параметры продуктов детонации в оболочке в начальный момент времени задавались по модели мгновенного взрыва и для пропано-воздушной смеси были приняты равными $P_{\text{взр}} = 9,5 \cdot 10^5$ Па, $T_{\text{взр}} = 2840$ К. Диаметр заряда в расчетах равнялся $d = 1,3$ м, высота $h = 3$ м, $H = 4$ м. Ветер задавался в поперечном направлении к заряду и имел скорость 5 м/с. Коэффициент сопротивления среды принят равным $k = 0,7$.

Результаты расчетов распределения концентрации продуктов детонации на момент времени 0,3 с от момента взрыва представлены (рис.3). Как видно, боковой ветер вызывает асимметрию в распределении концентрации продуктов реакции. Но его влияние на формирование поля давления пренебрежимо мала.

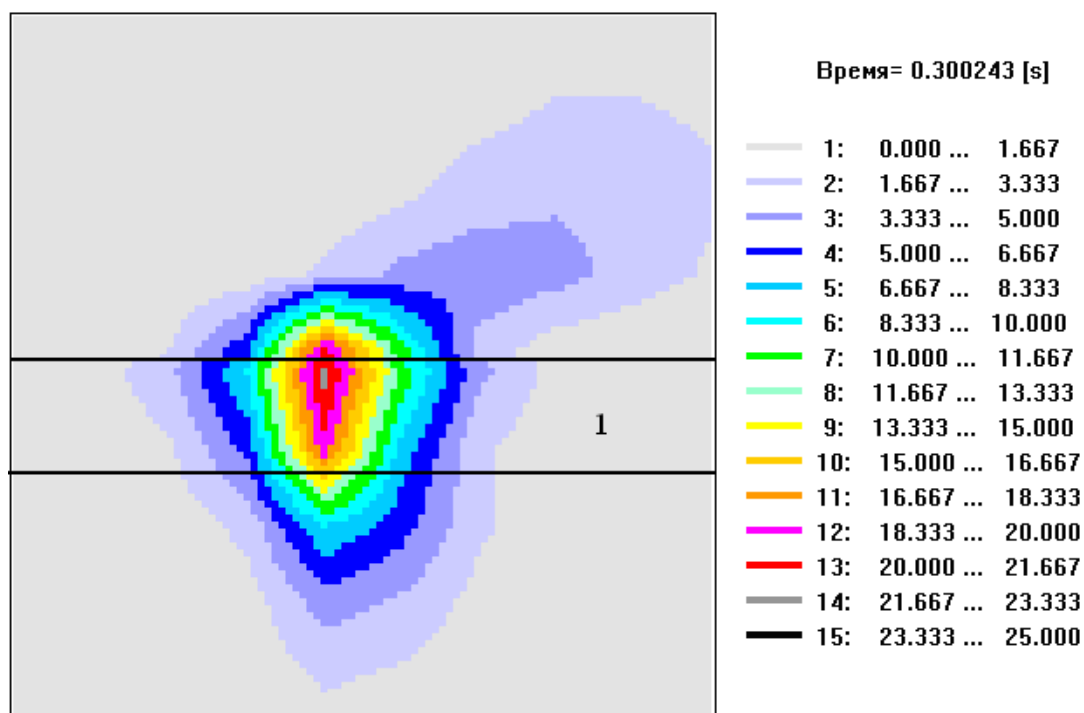


Рис. 3. – Результаты расчета концентрации: 1 – область крон деревьев

Распределение максимального давления вдоль нижней полосы, моделирующей нижнюю кромку деревьев имеет вид (рис. 4).

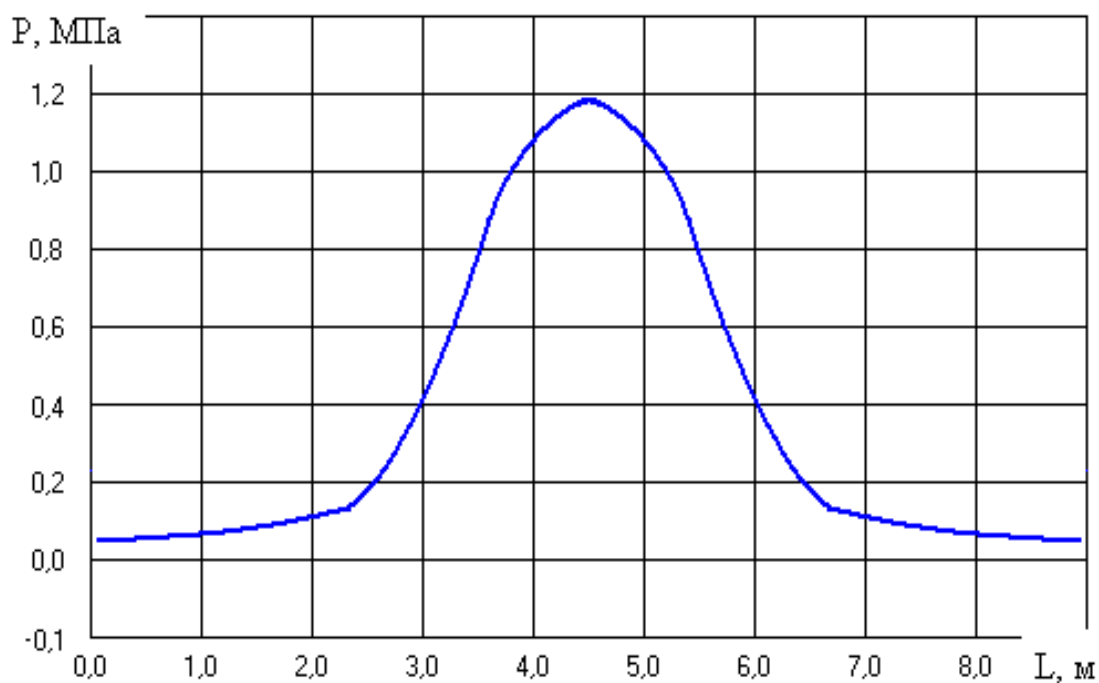


Рис. 4. – Распределение максимумов избыточного давления вдоль нижней кромки крон деревьев

Пользуясь величиной критического давления и результатами расчетов, получим, что ширина полосы обрыва ЛГМ составит в данном случае около 3 м. Расчет избыточного давления по выражению (2) дает избыток данного давления на 5,5 м от центра взрыва, что более чем на 1,2 м превышает значения результатов моделирования. Таким образом, аналитическая зависимость приводит к существенным искажениям в оценке области обрыва ЛГМ из-за не учета возрастания сопротивления среды.

Выводы. На основе сравнительного анализа методик расчета избыточного давления во фронте ударной волны показана необходимость применения трехмерной газодинамической модели, учитывающей повышенное сопротивление течению газового потока в области лесного фитоценоза. Получено, что в случае взрыва топливовоздушного заряда диаметром 1,3 м над кронами деревьев при средней высоте крон 3 м обеспечивается полоса обрыва лесогорючих материалов около 3 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. / А.М. Гришин – М.: Наука, 1992. – 408с.
2. Гришин А.М. Разработка концепции новых способов и устройств для борьбы с верховыми лесными пожарами:/ А.М. Гришин. - Отчет о НИР / Том. ун-т; Руководитель работы – Томск, 1989. – 276 с.
3. Рева Г.В. Метод розрахунку циліндричних відбивачів вибухових хвиль для гасіння лісових пожеж: автореф. дис. канд.техн.наук./ Г.В. Рева – Донецьк, 2000. – 18с.
4. Скоб Ю.А. Математическое моделирование воздействия взрыва объемного шлангового заряда на лесной фитоценоз и растительный покров/ Ю.А.Скоб, К.В.Корытченко, М.Л.Угрюмов, С.А.Вамболь // Проблемы пожарной безопасности: Сб.научн.тр. – Харьков: УГЗУ, 2009. - С. 134 - 140.
5. Брушлинский Н.Н. Моделирование пожаров и взрывов / Под общ. ред. Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. – М.: Изд. «Пожнаука», 2000. – 482 с.
6. Баум Ф.А. Физика взрыва. / Ф.А. Баум, К.П. Станюкович, Б.И. Шехтер – М: Гос. из-во физ.-мат. лит., 1959. – 800с.
7. Колодкин В.М. Количественная оценка риска химических аварий / В.М. Колодкин, А.В. Мурин, А.К. Петров, В.Г. Горский – Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 2001. – 228 с.

8. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 30079. Комп'ютерна програма „Комп'ютерна інтерактивна система інженерного аналізу та прогнозу руху хімічно реагуючих газоповітряних сумішей в задачах промислової аеродинаміки та екології атмосфери «FIRE»”: / Скоб Ю.А., Угрюмов М.Л., Коробчинський К.П. (Україна). – Дата реєстрації 28.08.2009.

puszu.edu.ua

К. В. Коритченко, С.О. Вамболь, Ю.А. Скоб, М.Л. Угрюмов, А.А. Назаренко

Моделювання області обриву ЛГМ, що формується при вибуху паливоповітряних зарядів в лісовому фітоценозі.

Проведена оцінка ефективності способу локалізації пожеж вибухом шляхом математичного моделювання області обриву лісо-горючих матеріалів (ЛГМ), що формується при вибуху паливоповітряних зарядів в лісовому фітоценозі. Завдання розглянуте з точки зору механіки суцільних середовищ згідно методики, запропонованою А.М. Грішиним.

Ключові слова: мінералізована полоса, об'ємний вибух, локалізація пожежів.

K.V. Korytchenko, S.O. Vambol, Yu.O. Skob, M.L. Ugryumov, A.A. Nazarenko

Break FCM-simulation, which is formed in the blast palyvopovitryanyh charges in forest plant associations.

The assessment of the effectiveness of mode localization fire explosion by mathematical modeling of forest area break-combustible materials (FCM), which is formed in the blast palyvopovitryanyh charges in forest plant associations. The task considered in terms of continuum mechanics by the method offered A.M. Grishin.

Keywords: mineralized zone, volumetric explosion, conflagration localization.