

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗРЫВА ОДИНАРНОГО ЗАРЯДА ИЗ СМЕСИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ГАЗОВ

*Дубинин Д.П., к.т.н., доцент кафедры, Лисняк А.А., к.т.н., доцент,
начальник кафедры, Национальный университет гражданской защиты
Украины*

Проблема сохранения лесов, открытых территорий и сельскохозяйственных угодий от огня в последние годы приобрела особую остроту в связи с повышением температуры воздуха, отсутствием осадков, сильными ветрами. Одним из способов борьбы с природными пожарами есть создание противопожарных барьеров. В настоящее время существует достаточно большое количество работ [1-3,] в которых рассматриваются математические модели, описывающие различные процессы и параметры, характерные для локализации природных пожаров за счет создания противопожарных барьеров. В работе [1] разработана математическая модель взаимодействия ударных волн с растительностью и фронтом природных пожаров с использованием конденсированных взрывчатых веществ. Применительно к взрыву зарядов из смеси взрывоопасных газов, данная модель требует усовершенствования, вызванное изменением начального распределения термодинамического состояния продуктов взрыва заряда из смеси взрывоопасных газов.

Учитывая отличие термодинамических свойств продуктов детонации от воздуха постановка задачи осуществлялась для смеси, состоящей условно из двух компонентов – газообразных продуктов детонации и воздуха. Математическая модель взрыва заряда из смеси взрывоопасных газов имеет вид:

$$\frac{\partial \vec{a}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{b}}{\partial x} + \frac{\partial \vec{c}}{\partial y} + \frac{\partial \vec{d}}{\partial z} = \rho \vec{n}, \quad (1)$$

где \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} , \vec{d} , \vec{n} – вектор-столбцы, которые представлены в виде:

$$\begin{aligned} \vec{a} &= [\rho, \rho u, \rho v, \rho w, E]^T, \\ \vec{b} &= [\rho u, P + \rho u^2, \rho uv, \rho uw, (E + P) u]^T, \\ \vec{c} &= [\rho v, \rho uv, P + \rho v^2, \rho vw, (E + P) v]^T, \\ \vec{d} &= [\rho w, \rho uw, \rho vw, P + \rho w^2, (E + P) w]^T, \\ \vec{n} &= [0, f_x + f_y, f_z]^T, \end{aligned}$$

где $f_x = -sc_d \cdot \rho u \sqrt{u^2 + w^2}$; $f_z = -sc_d \cdot \rho w \sqrt{u^2 + w^2}$ – проекция силы сопротивления на оси координат (sc_d – параметр, характеризующий силу

сопротивления единицы объема фитоценоза); ρ , T , P плотность, температура и давление газовой фазы; t – время; u , w – компоненты вектора скорости газового потока \vec{q} ; x , z – координаты в декартовой системе координат вдоль земной поверхности; s – удельная поверхность фитомассы полога леса; c_d – эмпирический коэффициент сопротивления полога леса; v – составляющая вектора скорости газового потока \vec{q} по оси Ox ; y – декартова координата по оси, перпендикулярной земной поверхности; E – полная энергия единицы объема смеси газов.

Закон переноса компонентов смеси с учетом скорости диффузии имеет вид:

$$\frac{\partial(\rho Q)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u Q)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v Q)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w Q)}{\partial z} = \rho_{Qt}, \quad (2)$$

где Q – относительная массовая плотность примеси, ρ_{Qt} – интенсивность изменения плотности примеси в результате диффузии (согласно закону Фика – $\rho_{Qt} = \text{div}(\rho \mathcal{D}_D \text{grad} Q)$; \mathcal{D}_D – коэффициент диффузии, который определялся по методике М.Е. Берлянда [4].

Представляет интерес сравнить эффективность ударного действия при создании противопожарных барьеров, которое возникает от взрыва шнуровых зарядов на основе конденсированных взрывчатых веществ и зарядов из смеси взрывоопасных газов. В первом случае условия размещения заряда из смеси взрывоопасных газов соответствовали условиям исследования создания противопожарных барьеров с использованием шнуровых зарядов из работы [1].

Для проведения математического моделирования начальные и граничные условия задачи газодинамического расширения продуктов взрыва заряда в фитоценозе при создании противопожарной барьера возьмем из работы [1].

С практической точки зрения подвешивание заряда на высоту 1,5 м является трудоемким процессом [1, 5]. Поэтому представляет интерес создание противопожарного барьера на земной поверхности. Для этого заряд из смеси взрывоопасных газов необходимо располагать непосредственно поверх наземного горючего материала (рис. 1).

Размер области моделирования вдоль оси Oz равна 4 м. В расчетной области, ограниченной диаметром d , в ячейках 4 на начальный момент времени параметры газа соответствуют состоянию продуктов детонации, которая возникла в результате мгновенного взрыва. Для начальных условий при применении одного заряда из смеси взрывоопасных газов исследовались расчетные варианты с диаметром заряда $d = \{0,95; 1,3; 1,8\}$. Коэффициент сопротивления среды при реализации взрыва в лиственном и смешанном лесу, а также этаж наземного горючего материала может отличаться от коэффициента сопротивления среды для молодого густого хвойного леса. Поэтому, в модели коэффициент сопротивления задавался $sc_d = \{0,5; 0,6; 0,7\}$.

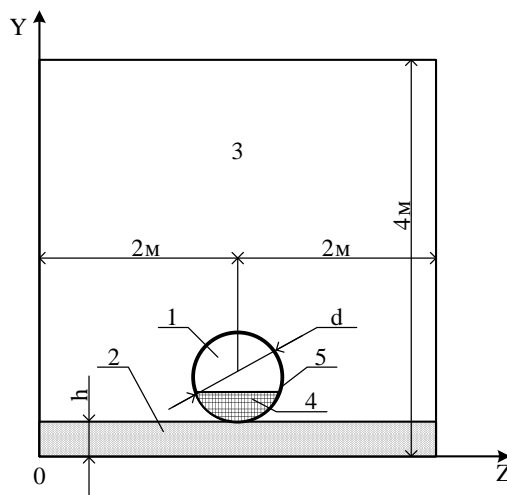


Рисунок 1. Размещение заряда из смеси взрывоопасных газов на земной поверхности: 1 - продукты детонации, 2 - слой растительности, 3 - воздух, 4 - место расчета 5 - начальная граница размещения продуктов детонации, h - толщина слоя покрова, d - диаметр заряда

Толщина слоя наземного горючего материала принималась равной $h = 0,1$ м. Скорость набегающего потока ветра задавалась равной $q_z = 3$ м/с [6].

Таким образом, начальные условия имеют следующий вид:

В области детонации заряда из смеси взрывоопасных газов:

$$\left(y - h - \frac{d}{2}\right)^2 + \left(z - \frac{H_z}{2}\right)^2 < \frac{d^2}{4}, \quad 0 < x < H_x, \quad (3)$$

принималось: $P|_{t=0} = 1,4$ МПа; $T|_{t=0} = 3480$ К; $\gamma|_{t=0} = 1,267$, $u|_{t=0} = 0$; $v|_{t=0} = 0$; $w|_{t=0} = 0$; $N|_{t=0} = 1$.

В области воздушного пространства:

$$h < y < H_y, \quad 0 < x < H_x, \quad 0 < z < H_z, \quad \left(y - h - \frac{d}{2}\right)^2 + \left(z - \frac{H_z}{2}\right)^2 \geq \frac{d^2}{4} \quad (4)$$

принималось: $P|_{t=0} = 0,1$ МПа; $T|_{t=0} = 293$ К; $\gamma|_{t=0} = 1,4$; $u|_{t=0} = 0$; $v|_{t=0} = 0$; $w|_{t=0} = 3$ м/с; $N|_{t=0} = 0$.

В области фитоценоза:

$$0 < y < h, \quad 0 < x < H_x, \quad 0 < z < H_z, \quad (5)$$

принималось: $P|_{t=0} = 0,1$ МПа; $T|_{t=0} = 293$ К; $\gamma|_{t=0} = 1,4$; $u|_{t=0} = 0$; $v|_{t=0} = 0$; $w|_{t=0} = 0$ м/с; $N|_{t=0} = 0$.

Таким образом, граничные условия имеют следующий вид. Земная поверхность в расчетах представлялась в виде множества непроницаемых участков, которые в совокупности моделируют расчетную область

поверхностей [7]. На этих поверхностях выполнялась условие не протекания: $q\vec{n} = 0$, где \vec{n} – вектор нормали к данной поверхности.

При постановке граничных условий считается, что расходная составляющая скорости ветра не превышает скорость звука. Набегающий поток газообразного вещества на входе определенного участка определяется величинами:

$$- \text{полной энтальпией } I_{00} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P}{\rho} + \frac{1}{2} (u^2 + v^2 + w^2), \quad (6)$$

$$- \text{функцией энтропией } S_0 = \frac{P}{\rho^\gamma}, \quad (7)$$

– относительной массовой плотности примеси Q ($Q \leq 1$, при поступлении газообразного вещества примеси).

В предложенной математической модели взрыва заряда из смеси взрывоопасных газов учтены процесс диффузии и сила ветра, что позволяет исследовать перемещения масс на поздних стадиях расширения продуктов взрыва и рассматривать процессы, возникающие при взрыве зарядов. Приведены начальные и граничные условия, которые позволяют провести численный расчет взрыва заряда из смеси взрывоопасных газов для создания противопожарного барьера и сравнить эффективность их применения со шнуровыми зарядами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – М.: Наука, 1992. – 408 с.
2. Абрамов Ю.А. Моделирование пожаров, их обнаружения, локализации и тушения / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, А.А. Тарасенко. – Х.: НУГЗУ, 2011. – 927 с.
3. Гербут Ф.Ф. Лісова пірологія / Ф.Ф. Гербут, – Ужгород: УНУ ГФ, 2012. – 103 с.
4. Фізика / І.Є. Лопатинський, І.Р. Зачек, Г.А. Ильчук, Б.М. Романишин. – Л.: Афіша, 2005. – 385 с.
5. Говаленков С.В. Математическое моделирование параметров взрыва объемно-шлангового заряда в пологе леса. / С.В. Говаленков, Д.П. Дубинин // Системи обробки інформації: – Х., 2011. – № 2 (92). – С. 282 – 285.
6. Статистические данные про погоду и климат Харькова. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/34300.htm>
7. Дубінін Д.П. Моделювання вибухової хвилі з урахуванням впливу рослинності при лісових пожежах / Д.П. Дубінін, С.В. Говаленков // Проблемні питання службово-бойового застосування сил охорони правопорядку на сучасному етапі: науково-практична конференція, 4-5 березня 2008 р.: тези доповідей. – Х., 2008. – С. 257 – 258.

