

Д.П. Дубінін, канд. техн. наук., НУЦЗУ
 А.А. Лісняк, канд. техн. наук., доцент, НУЦЗУ

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИБУХУ ЗАРЯДУ З СУМІШІ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ГАЗІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО БАР'ЄРУ

Математичне моделювання є одним із основних сучасних методів дослідження. Використання математичного апарату і сучасної обчислювальної техніки дозволяють скоротити матеріальні затрати на дослідження різних складних процесів щодо боротьби з природними пожежами. Розглянемо можливість застосування відомих моделей для дослідження ударної дії вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів за рахунок створення протипожежного бар'єру для локалізації природної пожежі.

В даний час існує чимала кількість робіт [1, 2, 3,] в яких розглядаються математичні моделі, що описують різні процеси і параметри, характерні для локалізації природних пожеж за рахунок створення протипожежних бар'єрів. У роботі [1] розроблена математична модель взаємодії ударних хвиль з рослинністю і фронтом природних пожеж стосовно конденсованих вибухових речовин. Стосовно вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних газів, відома модель вимагає удосконалення, що викликано зміною початкового розподілу термодинамічного стану продуктів вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів в порівнянні із станом продуктів вибуху конденсованих вибухових речовин. Крім того, рішення задачі не може бути отримане в автотельному вигляді, як це зроблено в роботі [1], оскільки розширення продуктів детонації заряду з суміші вибухонебезпечних газів не підкоряється законам сильного вибуху.

Враховуючи відмінність термодинамічних властивостей продуктів детонації від повітря тому постановка задачі здійснювалася для суміші, що складається умовно з двох компонентів – газоподібних продуктів детонації і повітря. Математична модель вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів у фітоценозі має вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial (P + \rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial \rho uv}{\partial y} + \frac{\partial \rho uw}{\partial z} = f_x, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \frac{\partial \rho uv}{\partial x} + \frac{\partial (P + \rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial \rho vw}{\partial z} = f_y, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho w}{\partial t} + \frac{\partial \rho uw}{\partial x} + \frac{\partial \rho vw}{\partial y} + \frac{\partial (P + \rho w^2)}{\partial z} = f_z, \quad (4)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial [(E + P)u]}{\partial x} + \frac{\partial [(E + P)v]}{\partial y} + \frac{\partial [(E + P)w]}{\partial z} = 0, \quad (5)$$

де $f_x = -sc_d \cdot \rho u \sqrt{u^2 + w^2}$; $f_z = -sc_d \cdot \rho w \sqrt{u^2 + w^2}$ – проекція сили опору на осі координат (sc_d – параметр, що характеризує силу опору одиниці об'єму фітоценозу); ρ , T , P – густина, температура і тиск газової фази, відповідно; e – внутрішня енергія одиниці маси газової фази; t – час; u , w – компоненти вектора швидкості газового потоку \vec{q} ; x , z – координати в декартовій системі координат вздовж земної поверхні; R_a – масові швидкості утворення компонентів газової фази; c_a – масова концентрація утворення газової фази; s – питома поверхня фітомаси пологому лісу; c_d – емпіричний коефіцієнт опору

пологу лісу; N – кількість компонентів суміші газів; v – складова вектора швидкості газового потоку \vec{q} по осі ОХ; y – декартова координата по осі, перпендикулярній земній поверхні; E – повна енергія одиниці об'єму суміші газів: $E = \rho \left(e + \frac{1}{2} (u^2 + v^2 + w^2) \right)$.

Закон переносу компонентів суміші з урахуванням швидкості дифузії має вид:

$$\frac{\partial(\rho Q)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u Q)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v Q)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w Q)}{\partial z} = \rho Q_t, \quad (6)$$

де Q – відносна масова щільність домішки (відношення щільності газоподібної речовини домішки до щільності суміші), ρQ_t – інтенсивність зміни щільності домішки внаслідок дифузії (відповідно до закону Фіка – $\rho Q_t = \text{div}(\rho \vartheta_D \text{grad} Q)$; ϑ_D – коефіцієнт дифузії, що визначався по методиці М.Е. Берлянда[4].

На відміну від моделі [1], в запропонованій моделі (1-5) враховані процес дифузії і сила вітру, що дозволяє досліджувати переміщення газових мас на стадіях надзвукового та дозвукового розширення продуктів вибуху.

Розрахункова область включає рослинний масив із однорідними властивостями по висоті дерев, розташований в ньому заряд з суміші вибухонебезпечних газів і частина приземного шару атмосфери. Швидкість набігаючого потоку вітру задавалася рівною $q_z = 3$ м/с як середня швидкість вітру для м. Харкова і Харківської області [6].

Для початкових умов з одним зарядом з суміші вибухонебезпечних газів досліджувалися розрахункові варіанти з діаметром заряду $d = \{0,95; 1,3; 1,8\}$. Коефіцієнт опору середовища в разі реалізації вибуху в листяному і змішаному лісі, а також поверх наземного горючого матеріалу може відрізнитися від коефіцієнта опору середовища для молодого густого хвойного лісу. Тому, в моделі коефіцієнт опору мав значення $sc_d = \{0,5; 0,6; 0,7\}$. Товщина шару наземного горючого матеріалу приймалася рівною $h = 0,1$ м.

Таким чином, початкові умови для мають наступний вид:

В області детонації заряду з суміші вибухонебезпечних газів:

$$\left(y - h - \frac{d}{2} \right)^2 + \left(z - \frac{H_z}{2} \right)^2 < \frac{d^2}{4}, \quad 0 < x < H_x, \quad (7)$$

приймалося: $P|_{t=0} = 1,4$ 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 області повітряного простору:

$$h < y < H_y, \quad 0 < x < H_x, \quad 0 < z < H_z, \quad \left(y - h - \frac{d}{2} \right)^2 + \left(z - \frac{H_z}{2} \right)^2 \geq \frac{d^2}{4} \quad (8)$$

приймалося: $P|_{t=0} = 0,1$ 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 області фітоценозу:

$$0 < y < h, \quad 0 < x < H_x, \quad 0 < z < H_z, \quad (9)$$

приймалося: $P|_{t=0} = 0,1$ 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 чином, граничні умови мають наступний вид. Земна поверхня в розрахунках представлялася у вигляді множини непроникних ділянок, які у сукупності моделюють розрахункову область поверхонь [7]. На цих поверхнях виконувалася умова не протікання: $q\vec{n} = 0$, де \vec{n} – вектор нормалі до даної поверхні.

При постановці граничних умов вважається, що витратна складова швидкості вітру не перевершує швидкість звуку. Набігаючий потік газоподібної речовини на вході певної ділянки визначається величинами:

$$- \text{повної ентальпії } I_{00} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P}{\rho} + \frac{1}{2} (u^2 + v^2 + w^2), \quad (10)$$

$$- \text{функції ентропії } S_0 = \frac{P}{\rho^\gamma}, \quad (11)$$

– відносною масовою густиною домішки Q ($Q \leq 1$, при надходженні газоподібної речовини домішки).

В запропонованій моделі враховані процес дифузії і сила вітру, що дозволяє досліджувати переміщення мас на пізніх стадіях розширення продуктів вибуху та розглядати процеси, що виникають при вибуху зарядів з суміші вибухонебезпечних газів.

ЛІТЕРАТУРА

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. Ільчук, Б.М. Романишин. – Л.: Афіша, 2005. – 385 с.
5. Говаленков С.В. Математическое моделирование параметров взрыва объемно-шлангового заряда в пологие леса. / С.В. Говаленков, Д.П. Дубинин // Системы обработки информации: – Х., 2011. – № 2 (92). – С. 282 – 285.
6. Статистические данные про Климат Харькова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Климат_Харькова
7. Дубинин Д.П. Моделювання вибухової хвилі з урахуванням впливу рослинності при лісових пожежах / Д.П. Дубинин, 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.

D.P.Dubinin, Cand. ofSc. (Eng.), Senior Lecturer, National University of Civil Protection of Ukraine

A.A.Lisnyak, Cand. ofSc. (Eng.), Head of department, National University of Civil Protection of Ukraine

IMPROVED MATHEMATICAL MODEL OF THE EXPLOSION OF THE CHARGE OF A MIXTURE OF EXPLOSIVE GASES TO CREATE FIRE BARRIERS

The paper provides a mathematical model of the explosion of charges of a mixture of explosive gases. Furthermore, this model allows us to investigate processes occurring in the explosion of the charge of a mixture of explosive gases. Established initial and boundary conditions, which are necessary for the numerical calculation of the charge of the explosion of a mixture of explosive gases to create fire barriers.