

ЛИТЕРАТУРА

1. ТКП 45-3.02-290-2013 Общие нормы проектирования. – Введ. 11.10.2013. – Минск : Минстройархитектуры, 2014. – 19 с.
2. Жаров, С. Дренчерные завесы: теория и практика / С.Жаров, А.Зархин, М.Митрофанова // Безопасность. Достоверность. Информация. – 2006. – № 5(68). – С. 24–27.
3. PyroSim – полевая модель пожара [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pyrosim.ru/polevaya-model-pozhara> – Дата доступа: 01.09.2016.
4. Методика оценки последствий аварийных выбросов опасных веществ. (Методика «Токси-3»). – М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2005. – 67 с.

УДК 614.84

*Д.П. Дубінін, канд. техн. наук, А.А. Лісняк, канд. техн. наук, доцент
(Національний університет цивільного захисту України)*

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИБУХУ ЗАРЯДУ З СУМІШІ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ГАЗІВ

Використання математичного апарату і сучасної обчислювальної техніки дозволяють скоротити матеріальні затрати на дослідження різних складних процесів. Розглянемо можливість застосування моделей для дослідження ударної дії вибуху заряду з суміші вибухонебезпечних газів щодо створення протипожежного бар'єру.

У роботі [1] розроблена математична модель взаємодії ударних хвиль з рослинністю і фронтом природних пожеж стосовно конденсованих вибухових речовин. Дана модель вимагає удосконалення у разі розширення сфери її застосування на заряди з суміші вибухонебезпечних газів. Це пов'язано з істотною відмінністю параметрів ударних хвиль, що виникають при вибухах конденсованих вибухових речовин і зарядів з суміші вибухонебезпечних газів [2].

Для адекватного опису процесу вибуху газоподібної суміші в атмосфері використовується система нестационарних рівнянь Нав'є-Стокса для стисненого газу [3, 4]. Обмежені можливості сучасних комп'ютерів не дозволяють ефективно здійснювати пряме чисельне вирішення цих рівнянь. В даний час, чисельне моделювання турбулентних течій здійснюють шляхом рішення усереднених по Рейнольдсу-Фавру рівнянь Нав'є-Стокса, доповнених моделлю турбулентності [5].

Враховуючи відмінність термодинамічних властивостей продуктів детонації від повітря, постановка задачі здійснювалася для суміші, що складається умовно з двох компонентів – газоподібних продуктів детонації і повітря. Повна система рівнянь, що описує нестационарне тривимірний перебіг двокомпонентної суміші газів в декартовій системі координат має вид [6, 7, 8]:

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

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

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

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

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

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; s – питома поверхня фітомаси пологу лісу; c_d – емпіричний коефіцієнт опору пологу лісу; 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 [9]:

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

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 – $\rho Q_t = \text{div}(\rho \mathfrak{D} \text{grad} Q)$); \mathfrak{D} – коефіцієнт дифузії, що визначався по методиці М.Е. Берлянда [8].

Система рівнянь (1) – (5) замикається рівняннями, що визначають теплофізичні властивості компонентів суміші. Властивості суміші, наприклад, питома теплоємність C_v , визначалися шляхом підсумовування складових, знаючи властивості газоподібної речовини домішки і «чистого» повітря [9]:

$$C_v = C_{v\sigma}N + C_{vA}(1-N), \quad (7)$$

де A – індекс, який відповідає параметрам «чистого» повітря; σ – індекс газоподібної речовини домішки (продуктів детонації).

Для ідеального політропного газу величина e пов'язана з P і ρ суміші залежністю [10]:

$$e = \frac{P}{(\gamma-1)\rho}, \quad (8)$$

де γ – показник адіабати ($\gamma_{\text{пов}} = 1,4$) [7].

Таким чином, підстановка математичної моделі в пакет програм заснованих на алгоритмах чисельного вирішення основних рівнянь на базі законів збереження з використанням схеми розпаду довільного розриву, дозволяє отримати чисельний розрахунок цих рівнянь та дослідити можливість застосування зарядів з суміші вибухонебезпечних газів для створення протипожежних бар'єрів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними / А. М. Гришин. – Новосибирск: Наука, 1992. – 408 с.
2. Говаленков С.В. Математическое моделирование параметров взрыва объемно-шлангового заряда в пологе леса. / С.В. Говаленков, Д.П. Дубинин // Системи обробки інформації: – X., 2011. – № 2 (92). – С. 282 – 285.
3. Ершов С.В. Математическое моделирование трехмерных вязких течений в турбомашинах – современный взгляд // Проблемы машиностроения. – 1998. – Т.1. – №2. – С.76-93.
4. Брэдшоу П. Введение в турбулентность и её изменение. – М.: Мир, 1974. – 278 с.
5. Thomas G.O. Flame acceleration and the development of detonation in fuel–oxygen mixtures at elevated temperatures and pressures / G. O. Thomas // Journal of Hazardous Materials. – 2009. – V. 163. – P. 783–794
6. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1986. – Т. 6. – 736 с..
7. Фізика / І.Є. Лопатинський, І.Р. Зачек, Г.А. Ільчук, Б.М. Романишин. – Л.: Афіша, 2005. – 385 с.
8. Берлянд, М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 418 с.
9. Численное решение многомерных задач газовой динамики / [С.К. Годунов, А.В. Забродин, М.Я. Иванов и др.]. – М.: Наука, 1976. – 400 с. Нечипорук Н.В. Математическое моделирование экологических процессов / Н.В. Нечипорук, Ю.А. Скоб, М.Л. Угрюмов. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. – 89 с.