

Висновки

Запропоновано ефективну методику оцінки рівня якості ЕЕ в електричних мережах загального призначення, котра може слугувати проектом нормативного документа та бути використаною на практиці в роботі енергопостачальних організацій і споживачів з метою забезпечення управління якістю такого важливого для України продукту, як ЕЕ.

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 01.01.2000. – К.: Держстандарт України, 1999. – 32 с. 2. Ванько В.М., Столярчук П.Г. Проблему контролю якості електроенергії в електричних мережах // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2001. – №58. – С. 47–56. 3. Ванько В.М., Столярчук П.Г. Метод оцінки якості продукції та послуг за допомогою теорії матриць // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2007. – №67. – С. 108–114. 4. Ванько В.М. Развитие теоретических засад та нормативно-технічного забезпечення оцінювання якості електричної енергії в мережах загального призначення: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук / НУ «Львівська політехніка». – Л., 2008. – 36 с. 5. Теоретические основы электротехники: В 2т. Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / Л.Р. Нейман, К.С. Демирчян. – Ленинград: Энергоиздат, 1981. – Т. 1. – 536 с.

УДК 533.6.011

К. Зеленський, В. Ліщина, *Є. Ваврук

Відкритий міжнародний університет розвитку людини “Україна”;
*Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машини

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НИЗИННИХ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

© Зеленський К., Ліщина В., Ваврук Є., 2009

Розглянуто задачу про виникнення та поширення низинних лісових пожеж. Запропоновано ітераційний числово-аналітичний метод розв’язання відповідної крайової задачі відносно концентрації речовин, що горять, та температури горіння в осередку пожежі. Наведено результати комп’ютерного моделювання запропонованого алгоритму.

The problem of appearing and extending of bottom forest conflagrations is discusses. The iterative computer- analytic method of decision of system of differential equations in partial derivations for concentration of flying substance and temperature of flying is considered.

Вступ

Охорона лісу від пожеж як частина загальнішої проблеми – захисту довкілля – має важливе самостійне значення у зв’язку з ростом антропогенного навантаження на довкілля і значним збільшенням кількості лісових пожеж.

Відповідно до універсальної схеми горіння при лісових пожежах спостерігаються процеси прогрівання, сушіння, піролізу (газифікації) легкозаймистих матеріалів (ЛЗМ), а також горіння продуктів піролізу. Кожний з цих процесів реалізується у відповідних просторових зонах фронту пожежі та у факелі полум’я, де згоряють газоподібні продукти піролізу.

Аналіз характеристик верхових та низинних лісових пожеж свідчить про їхню залежність від умов проведення експериментів і недостатньо високу точність, що обумовлюється тим, що у реальних умовах неможливо контролювати метеорологічні обставини та однорідність шару ЛЗМ.

Математичне моделювання процесів виникнення та поширення лісових пожеж є змістовним і ефективним методом дослідження, основною метою якого є розроблення засобів запобігання поширенню пожеж [2].

Постановка задачі

Важливу роль при поширенні лісових пожеж відіграють взаємодія газоподібних та дисперсних продуктів горіння з полем вітру і тепло- масоперенесення у зоні пожежі.

Розглянемо задачу про поширення двовимірної верхової пожежі. Відомі швидкість вітру і температура довкілля, геометричні, структурні та реакційні властивості пологу лісу, температура і розміри осередку загорання, потрібно визначити поля швидкості і температури у приземному шарі атмосфери (зокрема й у положі лісу), а також швидкість поширення лісової пожежі. Для спрощення аналізу зробимо такі припущення [1]:

1. Газове середовище складається з кисню, займистих компонентів продуктів піролізу, інертних компонентів повітря, а також водяної пари й інертних продуктів горіння.

2. Градієнт температури упоперек пологу лісу малий порівняно з градієнтом температури у повздовжньому напрямку.

Математично ця задача зводиться до розв'язання такої системи рівнянь:

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

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho F_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_T \frac{\partial u}{\partial z} \right); \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial c_j}{\partial t} + u \frac{\partial c_j}{\partial x} + w \frac{\partial c_j}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{xj} \frac{\partial c_j}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_T \frac{\partial c_j}{\partial z} \right) + R_j; \quad j = 1, 2, 3; \quad (3)$$

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_{ef} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{ef} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + qR_5 + \rho \mathbf{F} \cdot \mathbf{v}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g; \quad p_\infty = \rho RT. \quad (5)$$

У цій системі рівнянь позначено: $\mathbf{v} = (u, v, w)$ – вектор швидкості дисперсних часток, що горять; ρ – щільність суміші; T – температура газової фази; p – тиск; g – прискорення сил тяжіння; c_j – масова концентрація j -ї компоненти у газово-дисперсному середовищі; D_x, D_T – коефіцієнти молекулярної і турбулентної дифузії; $\lambda_{ef} = \lambda + \lambda_T$, $\mu_{ef} = \mu + \mu_T$ – ефективні коефіцієнти теплопровідності та в'язкості; R_j – масова швидкість утворення j -ї компоненти внаслідок піролізу ЛЗМ; R – газова стала; q – тепловий ефект процесу горіння газоподібного займистого продукту піролізу.

Зоною пожежі є паралелепіпед, у якому поширюється фронт лісової пожежі. Вісь Ox спрямована у напрямку вітру, вісь Oz – у напрямку, протилежному вектору сил тяжіння \mathbf{g} .

$$D = \{x \in [x_0, x_1], z \in [h_2, H]\}.$$

Розв'язання задачі

У цій роботі досліджуються процеси горіння продуктів піролізу, тобто відносно C_2 .

Для розв'язання задачі про поширення лісових пожеж задаються початковими і межовими умовами на межах області D :

$$u|_{t=0} = u_n(z), w|_{t=0} = w_n = 0, \quad T|_{t=0} = T_n(x, z), c_2|_{t=0} = c_{2n}(x, z); \quad (6)$$

$$u|_{x=x_0} = u_n(z), w|_{x=x_0} = 0, \quad T|_{x=x_0} = T_n(x_0, z, t), c_2|_{x=x_0} = c_{2n}(x_0, z, t); \quad (7)$$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x=x_1} = 0; \quad \left. \frac{\partial w}{\partial x} \right|_{x=x_1} = 0; \quad \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=x_1} = 0; \quad \left. \frac{\partial c_2}{\partial x} \right|_{x=x_1} = 0; \quad (8)$$

$$(\rho w)|_{z=h_3+0} = \dot{m}^-; \quad -\rho \mu_T \left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=h_3+0} = \tau^-; \quad u|_{z=h_3+0} = u|_{z=h_3-0}; \quad (9)$$

$$c_2|_{z=h_3+0} = c_2|_{z=h_3-0}; \quad T|_{z=h_3+0} = T|_{z=h_3-0}; \quad (10)$$

$$u|_{z=H} = u_n(x, H); \quad w|_{z=H} = 0; \quad T|_{z=H} = T_n(x, H); \quad c_2|_{z=H} = c_{2n}(x, H). \quad (11)$$

Наведені рівняння разом з початковими та межовими умовами описують стан приземного шару атмосфери у зоні пожежі.

Сформульована крайова задача відносно концентрації речовин, що горять, температури горіння в осередку пожежі та фронту пожежі являє собою винятково складну задачу, що описується системою нелінійних рівнянь математичної фізики. Існуючі методи розв'язання цієї задачі ґрунтуються на числових методах, які, своєю чергою, потребують проведення значної кількості натурних вимірювань стану атмосферних явищ у зоні пожежі, що само по собі є надзвичайно складною проблемою [1]. Крім того, враховуючи нелінійний характер системи рівнянь, реалізація числових схем призводить до розв'язання систем нелінійних функціональних рівнянь з усіма можливими наслідками.

У роботі пропонується ітераційний числово-аналітичний метод [3, 4] розв'язання сформульованої задачі, який ґрунтується на послідовному застосуванні методу інтегральних перетворень у просторовій області, критерієм оптимізації якого є мінімум середньоквадратичної похибки на двох послідовних ітераціях за кожною з компонент задачі (концентрація речовин, що горять, температура у зоні пожежі та фронт пожежі).

Якщо рівняння (2)—(4) записати у вигляді (відносно функції $\varphi(x, z, t)$, де ця функція означає u, c_2 або T)

$$L[\varphi] = f(\beta, x, z, t) + N[u, c_2, T]$$

з відповідними початковими та межовими умовами, то розв'язок задачі шукаємо у вигляді

$$\varphi^{(m)}(x, z, t) = \varphi^{(0)}(x, z, t) + S\{N[\varphi^{(m-1)}(x, z, t)]\},$$

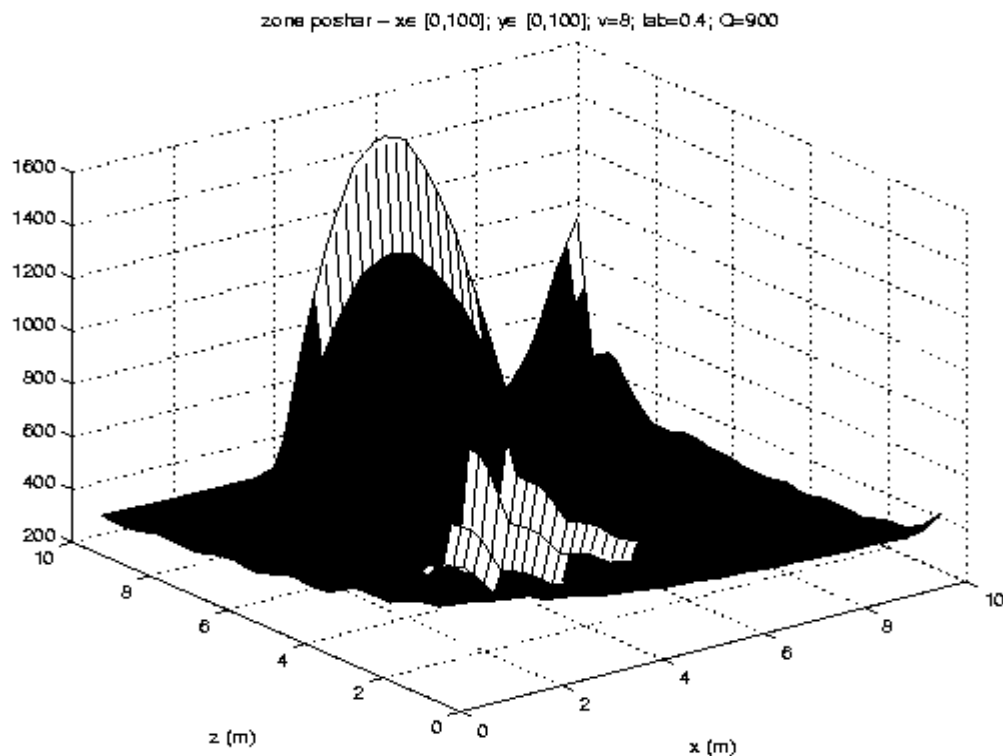
де S – оператор прямого і оберненого інтегрального перетворення за просторовими змінними x, z та часу t .

Зокрема, розв'язок крайової задачі відносно температури факела пожежі отримано у вигляді

$$T(x, z, t) \approx \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L e^{-\gamma(x)} \sin \alpha_k x e^{-\delta(z)} \sin \beta_{k,l} z \left\{ A_{k,l} e^{-\zeta_{k,l} t} + B_{k,l} \left[1 + C_{k,l} e^{-\zeta_{k,l} t} + D_{k,l} e^{-\xi_{k,l} t} \right] \right\}$$

Коефіцієнтами у цьому виразі є власні значення задачі, функції параметрів крайової задачі. При визначенні розв'язків крайової задачі з метою обмеження рядів (K, L) за власними функціями було використано метод Петрова—Гальоркіна [3].

Графік цієї функції для числових значень: $u_{\infty} = 8$ м/с, $\rho_0 = 0,2$ кг/м³, $W = 66,7\%$, $u_n = 4$ м/с, $T_n = 700^\circ\text{C}$, $c_{2n} = 0,6$ наведено на рисунку.



Графік функції факелу горіння у зоні пожежі

Висновок

За таким підходом до вирішення проблеми отримано числово-аналітичний розв'язок наведеної крайової задачі, який, на наш погляд, значно економить витрати на натурні вимірювання параметрів стану атмосфери у зоні пожежі, дає можливість за допомогою комп'ютерного моделювання визначити характеристики газової та дисперсної компонент, форму та розміри факела горіння, швидкість руху фронту пожежі за визначених умов тощо. Отримані розв'язки крайової задачі (1)—(11) дають змогу розв'язати й задачу прогнозування виникнення лісових пожеж.

1. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1981.—277 с. 2. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров.—М.: Лесн. пром-сть, 1979.—161 с. 3. Зеленський К.Х., Ігнатенко В.М., Коц О.П. Комп'ютерні методи прикладної математики.—К.: Академперіодика, 2002.—480 с. 4. Зеленский К.Х. Математическое моделирование температурного поля сварочной ванны // Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції АВІА—2003. – С.24.48—24.52.