

### *Висновки.*

1. Розроблений метод визначення частоти обертання приводу лафетного вібраційного ствола дає можливість визначити його необхідну частоту обертання, яка забезпечує коливні процеси в резонансній зоні.

2. Використання розгалуження з відповідним перехідником для живлення приводу лафетного ствола дає можливість контролювати та регулювати частоту обертання приводу лафетного вібраційного ствола.

3. Збільшення амплітуди коливання вібраційного лафетного ствола можливе у випадку коли частота вільних коливань збігається з частотою збурених коливань.

### ЛІТЕРАТУРА

1. 70521А. Деклараційний патент на винахід. Лафетний вібраційний ствол, Бюл. №10, 2004.
2. Гуліда Е.М., Мовчан І.О. Лафетний вібраційний ствол із регульованою жорсткістю підвіски. // Проблеми пожежної безпеки. – Харків: АЦЗ, 2003. – С.82-84.
3. Цасюк В.В. Теоретична механіка. – Львів: Видавництво „Афіша”, 2003. – 402 с.

УДК 614.84

*А.Д.Кузик, к.ф.-м.н., О.О.Карабин, к.ф.-м.н. (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)*

### МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОШИРЕННЯ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ В УМОВАХ ГІРСЬКОЇ МІСЦЕВОСТІ

На основі аналізу існуючих підходів до побудови математичних моделей поширення лісової пожежі розроблена математична модель поширення лісової пожежі в гірській місцевості

Щоб ефективно подолати лісову пожежу в умовах гір необхідно крім таких заходів, як своєчасне попередження та виявлення, організувати сили та засоби на її гасіння [1,2]. Велику роль у процесі управління може відіграти створення автоматизованої система керування пожежно-рятувальними підрозділами у гірській місцевості. Однією з найважливіших її підсистем є підсистема, яка повинна моделювати процес розвитку лісової пожежі. На основі цієї моделі формується комплекс управлінських рішень, спрямованих на організацію сил та засобів. Метою роботи є побудова моделі поширення лісової пожежі в умовах гір.

На поширення пожежі впливають такі фактори [3-4]: характеристика речовини, що горить (хімічний склад, початкова температура, орієнтація поверхні речовини, напрямок поширення, товщина, теплосмість, теплопровідність, густина, геометричні характеристики, однорідність, фактори навколишнього середовища (склад атмосфери, атмосферний тиск, температура, теплові потоки, швидкість і напрямок вітру).

В умовах лісової пожежі характеристика речовини, що горить, становить значну складність через нерівномірність рослинного матеріалу, його фізичного стану, густини насаджень та інших геометричних характеристик та значної величини впливу навколишнього середовища на горючість речовини. В умовах гір додатковими труднощами є специфічний характер теплових потоків від пожежі, які в значній мірі залежать від потоків

вітру. Неоднорідність лісового середовища приводить до розгляду таких видів пожеж, як верхові та низові.

Сьогодні існує декілька підходів до моделювання процесу поширення лісової пожежі. Одним з них є так званий точковий підхід, при якому розглядається процес поширення пожежі з кожної точки на сусідні, як правило, розташовані в центрах клітин ґратки [5]. За допомогою такого підходу зручно будувати растрове зображення на комп'ютері. Основними факторами, що беруться до уваги при такому підході, є визначення для кожної точки швидкості поширення пожежі по кожному з восьми напрямків. Іншим методом є хвилевий підхід, який дає змогу моделювати межу полум'я з точки зору її форми як кривої [6]. Проте обидва підходи використовують принцип Гюйгенса, який полягає в тому, що кожна точка межі полум'я є вторинним джерелом. Тому з необхідною точністю можна використовувати кожен з цих методів. Недоліками цих методів є складність застосування в умовах гірської місцевості, оскільки рельєф значно впливає як на швидкість розповсюдження пожежі, так і на її характер.

Для моделювання поширення пожежі в умовах гір використаємо наступний підхід. Нехай маємо деяку гладку поверхню  $G$ , покриту лісовою рослинністю. Поверхня задається деякою диференційовною функцією в системі координат  $(Oxyz)$

$$z = f(x, y).$$

Розглянемо випадок, коли ця функція має один локальний максимум (вершину) (Рис. 1)

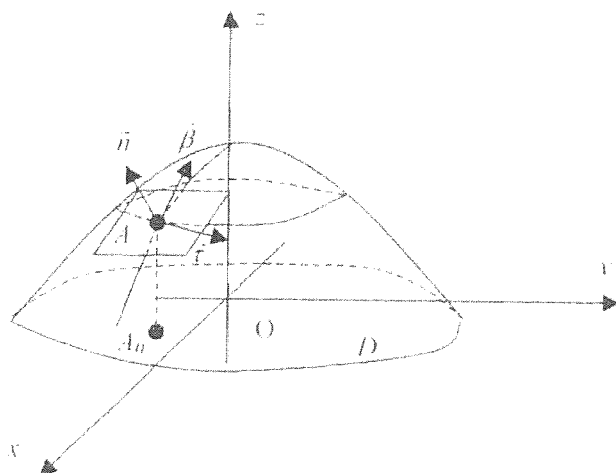


Рис. 1.

Функція  $z = f(x, y)$  відображає деяку область  $D$  в поверхню  $G$ . Будемо вважати, що вся поверхня покрита однорідною рослинністю. Розглянемо деяку внутрішню точку  $A_0(x_0, y_0) \in D$ . Їй відповідає значення функції  $z_0 = f(x_0, y_0)$ . Розглянемо спочатку поширення пожежі, осередком якої є точка  $A(x_0, y_0, z_0) \in G$ , без урахування швидкості та напрямку вітру. Припустимо, що поширення вогню за час  $\Delta t$  відбувається по дотичній площині до поверхні в точці  $A$ . Позначимо  $f'_x = f'_x(x_0, y_0)$ ,  $f'_y = f'_y(x_0, y_0)$ . Тоді рівняння дотичної площини має вигляд

$$f'_x \cdot (x - x_0) + f'_y \cdot (y - y_0) - (z - f(x_0, y_0)) = 0.$$

Введемо локальну систему координат з початком в точці  $A$ . Однією з осей координат виберемо пряму, яка є дотичною до лінії рівня  $z_0 = f(x, y)$ , на якій лежить точка  $A$ , друга вісь – перпендикулярна до цієї лінії та знаходиться в дотичній площині (бінормаль), третя вісь – нормаль до дотичної площини. Напрямами векторами осей локальної системи координат є

$$\vec{n} = (f'_x; f'_y; -1),$$

$$\bar{\tau} = (f'_y; -f'_x; 0),$$

$$\bar{\beta} = \bar{\tau} \times \bar{n} = (f'_x; f'_y; (f_x'^2 + f_y'^2)),$$

які в нормованому вигляді записуються наступним чином

$$\bar{n}_0 = \left( \frac{f'_x}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + 1}}; \frac{f'_y}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + 1}}; \frac{-1}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + 1}} \right),$$

$$\bar{\tau}_0 = \left( \frac{f'_y}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}}; \frac{-f'_x}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}}; 0 \right)$$

та

$$\bar{\beta}_0 = \left( \frac{f'_x}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \frac{f'_y}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \frac{f_x'^2 + f_y'^2}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}} \right).$$

В локальній системі координат  $(Ax_Ay_Az_A)$  будемо одиничний вектор  $\bar{v}_0 = \bar{v}_0(\alpha)$  можливого напрямку поширення пожежі, який залежний від кута  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha < 2\pi$ ), що відкладається від додатного напрямку осі  $Ax_A$  проти годинникової стрілки (рис 2).

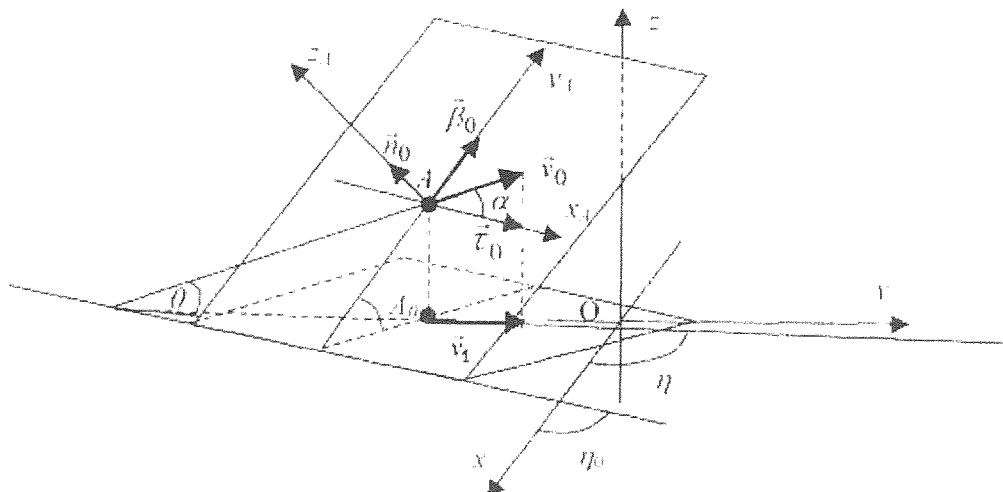


Рис. 2.

В цій локальній системі вектор  $\bar{v}_0$  буде мати такі координати

$$\bar{v}_0 = (\cos \alpha; \sin \alpha; 0) = \bar{\tau}_0 \cos \alpha + \bar{\beta}_0 \sin \alpha.$$

В системі координат  $(Oxyz)$  координати цього вектора матимуть наступний вигляд

$$\bar{v}_0 = \left( \frac{f'_y \cos \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{f'_x \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \right. \\ \left. \frac{-f'_x \cos \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{f'_y \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \right. \\ \left. \frac{(f_x'^2 + f_y'^2) \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}} \right)$$

Кут  $\Theta = \Theta(\alpha)$  між вектором  $\vec{v}_0$  та площиною  $(Oxy)$  знайдемо з формули скалярного добутку цього вектора та вектора  $\vec{k} = (0;0;1)$ . Маємо

$$\sin \Theta = \frac{\vec{v}_0 \cdot \vec{k}}{|\vec{v}_0| \cdot |\vec{k}|} = \frac{(f_x'^2 + f_y'^2) \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}},$$

тоді

$$\Theta = \arcsin \left( \frac{(f_x'^2 + f_y'^2) \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}} \right), \quad 0 \leq \alpha < 2\pi.$$

Нехай вектор  $\vec{v}_1$  – проекція вектора  $\vec{v}_0$  на площину  $(Oxy)$ . Тоді

$$\vec{v}_1 = \left( \frac{f_y' \cos \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{f_x' \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \frac{f_y' \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{-f_x' \cos \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; 0 \right).$$

Оскільки за час  $\Delta t$  часу пожежа поширюється з точки  $A(x_0, y_0, f(x_0, y_0))$  в напрямку вектора  $\vec{v}_0$  під кутом  $\Theta$  до горизонту зі швидкістю  $v(\Theta)$ , то кінець вектора  $v(\Theta)\Delta t \cdot \vec{v}_0$  є точка, до якої поширюється пожежа. Проекцією цього вектора на площину  $(Oxy)$ , зрозуміло, буде вектор  $v(\Theta)\Delta t \cdot \vec{v}_1$ . Таким чином, розглядаючи поширення пожежі в проекції на площину  $(Oxy)$  з точки  $A_0(x_0, y_0)$ , одержимо параметричне зображення координат точок межі пожежі в момент часу  $\Delta t$

$$x = x_0 + v(\theta(\alpha))\Delta t \left( \frac{f_y' \cos \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{f_x' \sin \alpha}{\sqrt{1 + f_x'^2 + f_y'^2}} \right),$$

$$y = y_0 + v(\theta(\alpha))\Delta t \left( \frac{f_y' \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{-f_x' \cos \alpha}{\sqrt{1 + f_x'^2 + f_y'^2}} \right),$$

де параметр  $\alpha \in [0; 2\pi]$ . Кожна з таких точок може бути розглянута як вторинний осередок пожежі і для неї можна застосувати наведені вище міркування.

*Висновки.*

1. Знаючи залежність лінійної швидкості поширення пожежі в залежності від кута нахилу до горизонту та використовуючи наведену вище методику, можна одержати рівняння проекції лінії межі поширення пожежі.

2. Запропонована методику без змін може бути застосована і до поверхонь, які мають декілька вершин.

3. Формули координат точок межі пожежі можуть бути основою моделі процесу поширення пожежі, за якою працює відповідна підсистема автоматизованої системи керування пожежно-рятувальними підрозділами у гірській місцевості.

## ЛІТЕРАТУРА

1. А.Д.Кузик. Про методи гасіння лісових пожеж // Пожежна безпека. – № 3, 2003. – с. 118-120.
2. А.Д.Кузик. Сучасні методи виявлення лісових пожеж // Пожежна безпека. – № 4, 2004. – с. 108-111.
3. Д.Драйздейл. Введение в динамику пожаров. – М.: Стройиздат, 1990. – 424 с.

4. Свириденко В.Є., Бабіч О.Г., Швиденко А.Й. Лісова пірологія. – К.: Агрпромовидав України, 1999. – 172 с.

5. L.Ntaimo, B.Khargharia, B.R.Zeigler, M.J.Vasconcelos. Forest Fire Spread and Suppression in DEVS. – [www.acims.arizona.edu/publication/pdf/NtaimoForestFirePaper.pdf](http://www.acims.arizona.edu/publication/pdf/NtaimoForestFirePaper.pdf).

6. А.Е.Басманов, А.П.Созник, А.А.Тарасенко. Экспериментально-аналитическая модель скорости распространения низового лесного пожара. // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. Вып. 11. Харьков: Фолио, 2002. – с. 17-25.

УДК 614.84

О.М.Трусевич, к.ф.-м.н., М.П.Судомир (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)

### ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ ПОШИРЕННЯ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

Знайдено спосіб визначення напрямку поширення лісових пожеж.

Лісові пожежі - це небезпечні пожежі, наслідками яких є великі матеріальні втрати, що вимірюються великою площею вигорання. Як при низових, так і при верхових пожежах площа вигорання збільшується з великою швидкістю, знищуючи лісову флору та фауну. Тому виявлення та прогнозування розвитку лісових пожеж має велике значення.

Для більш ефективного виявлення лісових пожеж значного поширення набуває метод виявлення їх штучними супутниками Землі. Припустимо, що через супутниковий зв'язок одержано інформацію про пожежу: її координати, форму площу горіння, температурний спектр. Ввівши цю інформацію в комп'ютер, одержимо інтерпретацію пожежі. Відомо [2], що, маючи форму площі горіння, можна прогнозувати периметр та напрямок її поширення завдяки знаходженню градієнта в кожній точці периметра поширення пожежі. Встановимо інший спосіб визначення напрямку розвитку пожежі.

Нехай інтерпретацію пожежі на екрані будемо розглядати як плоске скалярне нестационарне поле. Як відомо [1], величина цього поля - це температура горіння в кожній точці поля, яку можна визначити за допомогою температурного спектру, який одержано в результаті супутникової фотографії. Нехай  $U=f(x, y, t)$  - рівняння цього поля, що інтерпретує пожежу. Наведемо метод знаходження напрямку поширення пожежі за допомогою знаходження координат центра мас  $(x'_c, y'_c)$  області  $D$ , що визначає інтерпретацію пожежі на дисплеї, за відомими формулами:

$$x_c = \frac{\iint_D xf(x, y, t) dx dy}{\iint_D f(x, y, t) dx dy}, \quad y_c = \frac{\iint_D yf(x, y, t) dx dy}{\iint_D f(x, y, t) dx dy}$$

де в ролі густини  $\gamma(x, y)$  виберемо температуру горіння в кожній точці області  $D$ , тобто  $\gamma(x, y) = f(x, y, t)$ , де  $t$  - час. Це важливо, бо як правило, гасіння пожеж відбуваються по периметру, але для гасіння великих лісових пожеж з літаків треба знати місця, в яких є висока температура, тобто більша за температуру навколишнього середовища. Зауважимо, якщо температура середовища за межею області  $D$  менша, ніж температура горіння, то покладемо, що  $U=0$ .