

4. Дидух Я.П. Растительность Горного Крыма (структура, динамика, эволюция и охрана). – К.: Наук. думка, 1992. – 256 с.
5. Золотокрылин А.Н., Носов Л.М. Связь вертикальной дифференциации микроклиматических условий со стратификацией фитомассы лесных биоценозов// Лесоведение. 1974, № 4. – С. 24-32.
6. Иерусалимов Е.Н. Температурный режим и влажность воздуха в насаждениях, поврежденных сосновым шелкопрядом// Лесоведение. – 1973, № 6. – С. 42-52.
7. Кочкин М.А. Почвы, леса и климат Горного Крыма и пути их рационального использования. – М.: Изд-во Колос, 1967. – 368 с.
8. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая шк., 1990. – 350 с.
9. Мелехов И.С. Лесоведение. – М.: Лесн. пром, 1980. – 408 с.
10. Ольшевский Е. Температура воздуха в лесных экосистемах// Лесоведение. – 1993, № 3. – С. 25-33.
11. Побединский А.В. Лесопользование и стабильность лесных биоценозов// Лесоведение, 1983, № 3. – С. 3-7.
12. Ушатин П.Н. Основы организации лесного хозяйства в горных лесах СССР, – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 92 с.
13. Физиология сосны обыкновенной/ Под ред. Г.М. Лисовский. – Новосибирск: Наука, 1990.
14. Харитонович Ф.И. Биология и экология древесных пород. – М.: Лесн. пром-сть, 1968. – 304 с.

УДК 614.84

А.Д. Кузык, канд. ф.-м. наук; О.О. Карабин, канд. ф.-м. наук – Львівський ін-т пожежної безпеки МНС України

ОСОБЛИВОСТІ ВИНИКНЕННЯ ТА ПОШИРЕННЯ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ

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

Ключові слова: лісова пожежа, тип лісу.

A.D. Kuzyk; O.O. Karabyn

Forms of starting forestry firings

On the basis of the analysis of existing approaches to construction of mathematical models of forest fires the mathematical model of distribution of forest fire in mountain district is developed

Keywords: forestry firings, type of forest.

Пожежна небезпека лісів визначається типом лісу, його природними та іншими особливостями. Від типу лісу залежить склад, кількість і розподіл лісових горючих матеріалів, а також значною мірою вміст вологи в цих матеріалах. Різні ділянки лісу характеризуються і різною пожежною небезпекою.

Як відомо, ступінь пожежної небезпеки окремих ділянок лісового фонду визначається п'ятибальною шкалою оцінки, запропонованою академіком І.С. Мелеховим: I клас – висока пожежна небезпека, II – вище середньої, III – середня, IV – нижче середньої, V – низька.

Дослідження, проведені у лісових насадженнях, дають підстави відвести більшість з них до I-III класу пожежної небезпеки. Тут можливі впродовж пожежонебезпечного сезону як низові, так і верхові пожежі. До IV класу належать ділянки трав'яних типів лісу, де пожежна небезпека проявляється у

період літнього максимуму сухості повітря. У березняках, осичниках і вільшаниках (V кл.) пожежі можливі тільки в умовах тривалої засухи, коли виникають низові пожежі.

Щоб ефективно подолати лісову пожежу в умовах гір необхідно окрім 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, теплоємність, 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 значною мірою 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 у системі координат $(Oxyz)$

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

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

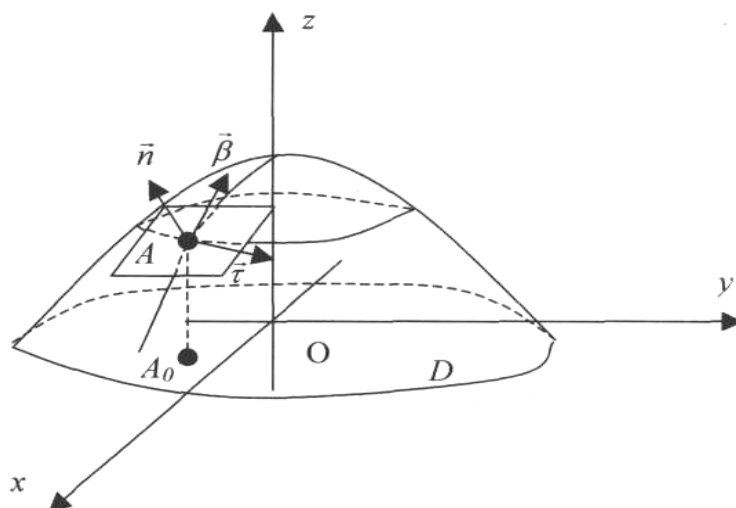


Рис. 1. Розрахункова схема

Функція $z = f(x, y)$ відображає деяку область D у 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 Δt 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 у 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 у дотичній площині (бінормаль), третя вісь – нормаль до дотичної площини. Напрямними векторами осей локальної системи координат є

$$\vec{n} = (f'_x, f'_y, -1), \quad \vec{\tau} = (f'_y, -f'_x, 0),$$

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

які в нормованому вигляді записуються наступним чином

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

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

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

У локальній системі координат $(Ax_A y_A z_A)$ будемо одиничний вектор $\vec{v}_0 = \vec{v}_0(\alpha)$ можливого напрямку поширення пожежі, який залежний від кута

α ($0 \leq \alpha < 2\pi$), що відкладається від додатного напрямку осі Ax_A проти годинникової стрілки (рис. 2).

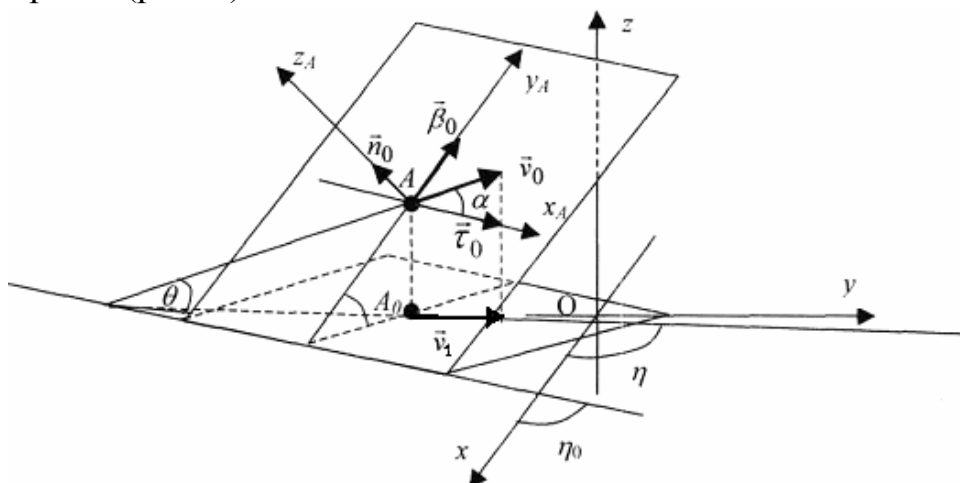


Рис. 2. Розрахункова схема

У цій локальній системі вектор \vec{v}_0 буде мати такі координати

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

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

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

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

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

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

$$\vec{v}_1 = \left(\begin{array}{l} \frac{f'_y \cos \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{f'_x \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \frac{f'_y \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{-f'_x \cos \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; 0 \end{array} \right) .$$

Оскільки за час Δt часу пожежа поширюється з точки $A(x_0, y_0, f(x_0, y_0))$ в напрямку вектора \vec{v}_0 під кутом Θ 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 у проекції на площину (Oxy) з точки $A_0(x_0, y_0)$, одержимо параметричне зображення координат точок межі пожежі в момент часу Δt

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

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

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.

Протипожежні заходи необхідно проводити, виходячи із стану пожежних виділів. Як відомо, в один пожежний виділ об'єднують суміжні таксаційні виділи одного класу пожежної небезпеки. Необхідно враховувати, що площа лісового кварталу і лісового виділу залежить від розряду лісовпорядкування. Користування методикою має вестися з врахуванням стану пожежних виділів.

Висновки

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

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