

МОДЕЛЬ ПОШИРЕННЯ ЛАНДШАФТНОЇ ПОЖЕЖІ З УРАХУВАННЯМ ФЛУКТУАЦІЙ ВІТРУ І ВОЛОГОСТІ ПАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ

Досліджено вплив випадкових коливань вітру і неоднорідності пального матеріалу по вологості на швидкість поширення контуру ландшафтної пожежі. Показано, що при рівномірному розподілі випадкових величин швидкості вітру і його напрямку, годограф швидкості руху пожежі сильно залежить від флуктуації вітру по напрямку, а від флуктуації по силі залежить слабо. Показано вплив неоднорідності полю вологості на поширення контуру ландшафтної пожежі, який призводить до його складної форми.

Постановка проблеми Одним з основних питань протипожежної охорони лісів є прогнозування динаміки поширення контуру пожежі по визначеній території, тобто знаходження залежності форми і розмірів контуру від часу t . Знання параметрів контуру лісової (ландшафтної) пожежі дозволяє зробити правильний вибір методів гасіння [1-4].

Аналіз досягнень і публікацій У [5] розглянута геометрична модель швидкості поширення ландшафтних пожеж, відповідно до якої

$$V(\varphi, \psi, v_B) = V_0 \frac{2\alpha \cos x + (1 + \alpha^2) \sqrt{\cos^2 x + (1 - \alpha^2)^2 \sin^2 x}}{\cos^2 x + (1 + \alpha^2)^2 \sin^2 x}, \quad (1)$$

де $V_0 = v_0 + kv_B$, $\alpha = v_B / \sqrt{v_B^2 + c^2}$, $x = \varphi + \psi$, v_B і ψ сила вітру і його напрямок щодо полярної осі, що збігається з віссю OX , φ – азимутальний кут, v_0 – швидкість поширення пожежі при $v_B = 0$. Параметри моделі v_0 , k і c залежать від складу і стану пального матеріалу і приведені в [6]. З (1) дістаємо $V_{ФР}$, V_T , а також $V_{ФЛ}$ які збігаються з виразами, приведеними в [6]. Відзначимо, що формула (1) описує швидкість поширення пожежі на рівнинній місцевості, а її справедливість підтверджена численними експериментальними дослідженнями (див. [2]).

Постановка задачі. Вираз (1) узагальнено нами для випадку врахування флуктуацій вітру по силі v_B і напрямку ψ . Дійсно з експериментальних спостережень [3] відомо, що швидкість вітру може сильно змінюватися по величині і напрямку. При цьому [3] випадкові величини v_B і ψ підкоряються рівномірному (при $v_B \leq 2$ м/с) і нормальному при ($v_B > 2$ м/с) законам розподілу. Нами вивчено вплив таких флуктуацій на швидкість поширення пожежі, яка залежить у тому числі від вологості пального матеріалу. Нами була врахована вологість й її вплив на контур лісової пожежі.

Зміст роботи. У даній роботі коливання вітри враховані нами в припущенні, що випадкові величини v_B і ψ незалежні і підкоряються рівномірному закономірному розподілу

$$f(\psi, v) = f_1(\psi) f_2(v), \quad f_1(\psi) = \frac{1}{2 \Delta \psi}, \quad f_2(v) = \frac{1}{2 \Delta v}, \quad (2)$$

де $-\Delta\psi < \psi < \Delta\psi$, $v_B - \Delta v < v < v_B + \Delta v$ й з математичним сподіванням $M(\psi) = 0$ і $M(v) = v_B$ (основний напрямок вітру збігається з віссю OX) і дисперсією $D(\psi) = (\Delta\psi)^2/3$ і $D(v) = (\Delta v)^2/3$

Тоді середнє значення швидкості поширення пожежі $\bar{V}(\varphi)$ визначається математичним очікуванням:

$$M(V(\varphi, \psi, v_B)) = \bar{V}(\varphi) = \int_{\psi - \Delta\psi}^{\psi + \Delta\psi} \int_{v_B - \Delta v}^{v_B + \Delta v} V(\varphi, \psi, v_B) dv_B d\psi * f(\psi, v_B), \quad (3)$$

Розрахунки величини (3) проведені нами при наступних значеннях параметрів $v_0=0,067$ м/с, $k=0,0075$, $c=240$ м/с, при різних значеннях v_B , Δv і $\Delta\psi$.

На рис. 1 приведені як приклади найбільш цікаві і характерні результати проведених нами розрахунків. Так як найбільш небезпечний напрямок поширення пожежі визначає напрямок вітру, то аналіз і порівняння одержуваних годографів швидкості пожежі проведено нами для контурів у правій напівплощині. Форма годографа швидкості пожежі в лівій напівплощині не є критичною для організації гасіння пожеж при $v_B > 0$ [4].

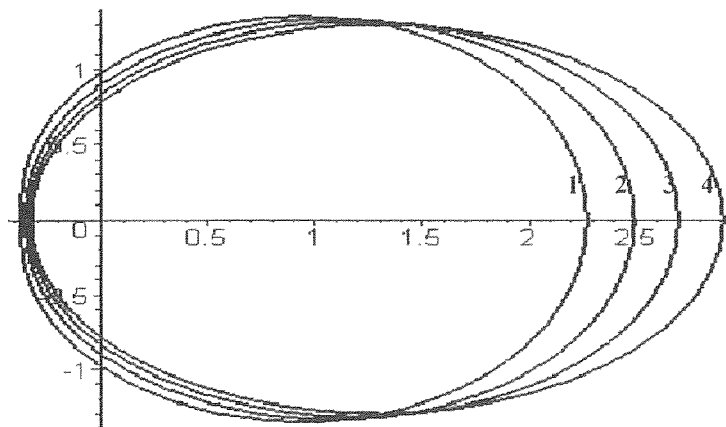


Рис. 1. Годографи швидкості при $v_B = 120$ м/с, $\Delta v = 180$ м/с. Лінія 4 відповідає контуру без врахування флуктуації. Лінії 1-3 при $\Delta\psi = \pi/3, \pi/4, \pi/6$ відповідно.

З аналізу отриманих даних випливає, що флуктуація вітру по швидкості v_B майже не впливає на швидкість поширення пожежі. У свою чергу флуктуація вітру по напрямку ψ значно впливає на швидкість поширення пожежі.

Для того щоб врахувати поля вологості в аналітичному виді введемо у вираз для швидкості (1) коефіцієнт K , що описує напівемпіричну залежність K при неоднорідній вологості w рослинного покриву [1, 7, 8]:

$$K = f(w) = 1 - 2,6 \frac{w}{w_0} + 5,1 \left(\frac{w}{w_0}\right)^2 - 3,5 \left(\frac{w}{w_0}\right)^3, \quad (4)$$

де w_0 – критичне значення вологості. З (4) випливає, що $K=f(w_0)=0$ і $K=f(0)=1$. Відзначимо, що в [9] приведена інша залежність K від w , що зв'язано, очевидно, з верховим характером розглянутої в [9] пожежі.

Щоб скористатися виразом (4) необхідно знати значення вологості w у всіх точках території, по якій поширюється пожежа, тобто мати поле розподілу вологості. Таке поле, у принципі, завжди можна описати виразом типу

$$w = \sum f_i(x, y), \quad (5)$$

де $f_i(x, y)$ – визначений набір належним чином обраних кусочно-безперервних функцій, а x, y – координати на площині, де відбувається ландшафтна пожежа.

У результаті, вважаючи, що (1) не залежить явно від часу, вираз для опису залежності контуру пожежі від часу t і вологості w зручно представити у виді

$$R_i = R_{i-1} + V(\varphi, \psi, \nu_B) K_{i-1}(t_{i-1} - t_0), i=1, 2, \dots \quad (6)$$

У (6) при $i=1$ вираз R_0 описує контур пожежі в початковий момент часу t_0 . Використання виразу (6) припускає наступний розрахунковий алгоритм. За даним значенням R_0 обчислюємо координати $x=R_0\cos\varphi$ і $y=R_0\sin\varphi$ і знаходимо поле вологості згідно (5) у точках контуру пожежі в момент часу t_0 . За даними значенням w обчислюємо поле коефіцієнта (4). Отримане значення коефіцієнта K , як і значення R_0 , підставляємо в (6) і знаходимо контур пожежі R_1 у момент часу $t_1=t_0+\Delta t_1$. Після чого знову повторюємо зазначену процедуру розрахунків.

Як приклад нами розглянутий такий простий овальний розподіл поля вологості

$$w = W \left\{ 1 - \frac{\alpha_1}{A(x - x_0)^2 + B(y - y_0)^2 + 1} \right\}, \quad (7)$$

де $W=0,4$ середня вологість пального матеріалу, параметри A, B, α_1 – константи, що описують довжину даного поля, x_0, y_0 – визначають положення поля вологості. Відзначимо, що при $\alpha_1>0$ вираз (7) описує зменшення вологості в околі т. (x_0, y_0) , а при $\alpha_1<0$ – збільшення вологості w .

На рис. 2 приведені приклади полів вологості, варіант **a** – коли вологість збільшується ($\alpha_1=-0,5$) і варіант **б** – коли зменшується ($\alpha_1=0,5$).

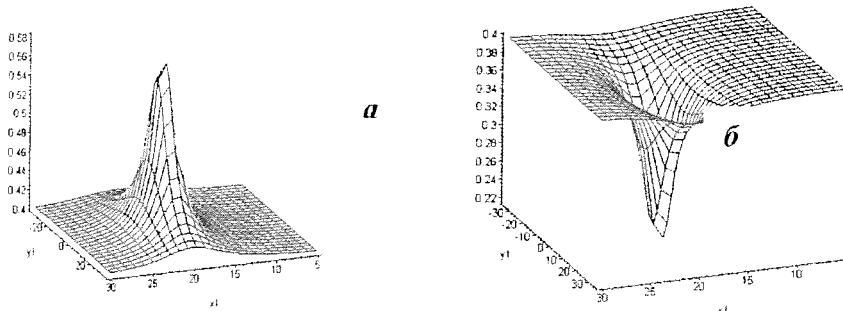


Рис. 2. Поле вологості, що описується w , при $A=0,5, B=0,01, \alpha_1=\pm 0,5$,

Використовуючи вираз (4), (6) і (7), нами розраховані контури пожежі з урахуванням зміни вологості пального матеріалу. Результати розрахунків при $\alpha_1=-0,5$ і $x_0=20$ м, $y_0=5$ м у (7) і значеннях A і B як на рис. 2, представлені на рис. 3. З рис. 3 видно, що коли контур пожежі наближається до т. (x_0, y_0) , в околі якої вологість зростає, його рух сповільнюється й особливо сильно при (x_0, y_0) . У результаті контур пожежі деформується і на ньому виникають вигини, що спрямовані усередину контуру. Відзначимо, що при відсутності інших аномалій у розподілі вологості, з часом буде відбуватися заліковування контуру [4].

Уведення інших доданків у (5) не змінює алгоритм знаходження контуру пожежі, однак його форма навіть при невеликих змінах вологості буде істотно відрізнятися від простої еліптичної форми [4, 5].

Таким чином, нами показано, що врахування флуктуацій вітру є фактором, який необхідно враховувати при розрахунку контуру пожежі. Але більш вагомий вплив на форму контуру оказує неоднорідний розподіл вологості. Далі нами планується проведення детальних розрахунків контуру з різноманітними реалістичними полями вологості.

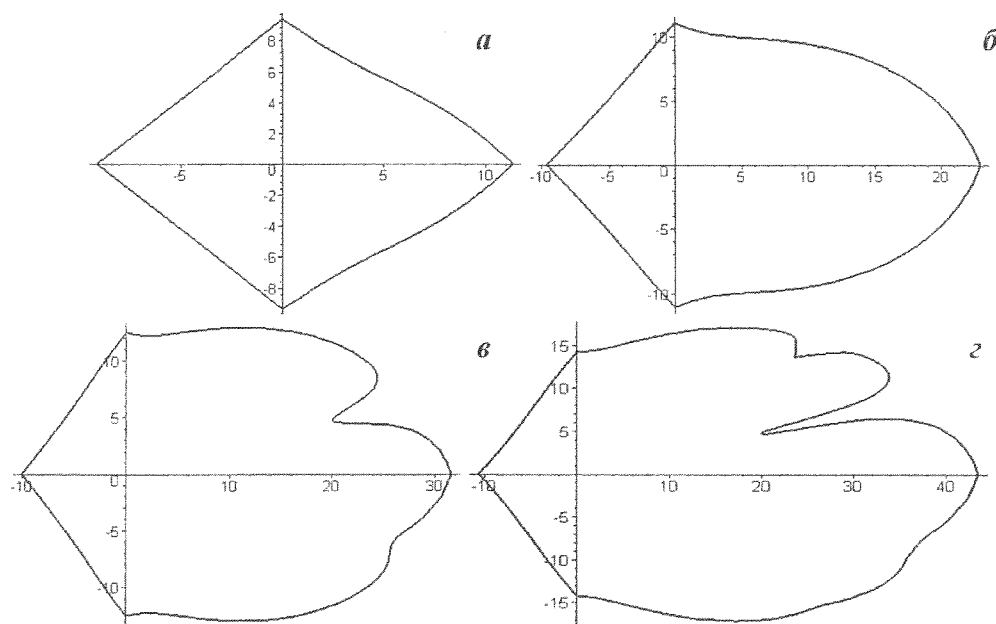


Рис. 3. Контур поширення ландшафтної пожежі. Початкове вогнище у формі ромба, $S_0=162 \text{ м}^2$. Відстань по осях у метрах, $v_y=3 \text{ м/с}$. Криві а, б, в, г відповідають $t=1, 3, 4, 5 \text{ хв}$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Г.А. Доррер. Математические модели динамики лесных пожаров. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 160с.
2. Ю.А. Абрамов и др. Обнаружение очагов лесных пожаров и прогноз динамики их распространения. – Харьков: АГЗ Украины, 2004. – 145с.
3. Э.Н. Валендик. Борьба с крупными лесными пожарами. – Новосибирск: Наука, 1990 – 193с.
4. Сознік О.П., Калиновський А.Я. Геометрична модель швидкості поширення ландшафтних пожеж і деякі її наслідки//Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці/ Таврійська державна агротехнічна академія - Вип.4, т.24.–Мелітополь: ТДТА, 2004.– с. 94-98
5. А.Е. Басманов, А.П. Созник, А.А. Тарасенко. Эспериментально-аналитическая модель скорости распространения низового лесного пожара. // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. Вып. 11. Харьков: Фолио, 2002. – с. 17-25.
6. Г.П. Телицын. Зависимость скорости распространения низовых пожаров от условий погоды. // Сб. тр. ДальНИИЛХ. – 1965. Вып. 7. – с. 390-405.
7. Н.Е. Anderson. Heat transport and fire spread. – USDA Forest, Serv. Res. Paper INT – 69. – Ogden, 1969.
8. М.А. Сафронов. Лесные пожары в горах южной Сибири. – М.: Наука, 1967. – 150 с.
9. А.Н. Гришин, А.Д. Грузин, В.Г. Зверев. Математическая теория верховых лесных пожаров// Теплофизика пожаров. – Новосибирск: Институт теплофизики, 1984. – с. 38 – 75