

Koval O.M. Certain Decision Making Criteria to Optimize the Process of Localization and Firefighting at Woodworking Enterprises

The existing decision-making criteria for optimizing processes of localization and extinguishing fires are reviewed and analyzed. Concerning this analysis a basis for the development of criteria for decision making under uncertainty of the process of fire localization was adopted. The criteria considered by the loss of the object from the fire and fire rescue units to perform the process of fire extinguishing are studied. The main factors that influence the duration of the loss are the free development of the fire and the duration of the process of its localization. For value criteria some equations for the loss of the object were developed, as well as for fire rescue units, and then summing them, taking the derivative with respect to time and equating to zero the resulting equation was obtained value of the criterion. It is recommended that the resulting value of the criterion should be used in the development of operational plans and cards for extinguishing wood processing enterprises.

Keywords: fire, optimization criterion, the process of fire localization, loss of the object from the fire, the loss of firefighters rescue units to eliminate the fire.

УДК 515.2

Проректор І.О. Мовчан, канд. техн. наук –
Львівський ДУ БЖД

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇЇ ЛОКАЛІЗАЦІЇ

На підставі аналізу сучасного стану проблеми встановлено, що незважаючи на об'єм нагромадженої інформації про лісові пожежі, на цей час не існує достатньо простої, адекватної й практично застосовної моделі поширення лісової пожежі, на базі якої можливе розроблення практичних планів локалізації та гасіння лісових пожеж. Побудовано математичну модель та оцінено вплив зміни параметрів вітру та розподілу вологості лісового пального матеріалу на динаміку низової лісової пожежі. З порівняння контурів поширення пожежі встановлено, що залежності швидкості від часу приводять до істотних змін як форм контурів розвиненої пожежі, так і напрямків їх найнебезпечніших поширень. Таким чином, форма контуру пожежі при врахуванні варіацій параметрів вітру і вологості горючого матеріалу істотно відрізняється від простої еліптичної форми.

Ключові слова: динаміка низової лісової пожежі, ефективність локалізації, розподіл вологості лісового пального матеріалу.

Постановка проблеми. Статистичні дані за останні роки свідчать про збільшення кількості лісових пожеж. Щорічно на планеті виникає до 400 тис. лісових пожеж, які ушкоджують близько 0,5 % від загальної площі лісів. Основна маса лісових пожеж – це низові пожежі, які завдають найбільше збитків і є джерелом виникнення пожеж інших типів.

Попередження й гасіння лісових пожеж є однієї з найбільш актуальних і найважливіших завдань у лісовому господарстві України. Через просторість територій, покритих лісом, і недостатність засобів для ліквідації загорянь проблема боротьби з пожежами постала особливо гостро. У пожежонебезпечний сезон на території України щодня виникають сотні осередків лісових пожеж. Для визначення ефективних сценаріїв локалізації та гасіння потрібен прогноз динаміки лісової пожежі. Такий прогноз можна дати за допомогою методів математичного моделювання лісових пожеж.

Аналіз публікацій. За результатами аналізу літературних джерел, багато закордонних робіт, в яких досліджено математичне моделювання різних аспектів лісових пожеж та описано характерні для них параметри, процеси поширення, а

також методи локалізації та гасіння [1-2]. В Україні дослідження в цьому напрямку [3-5] викладено в працях Ю.О. Абрамова, А.М. Дигало, Р.Л. Покровсько-го, В.М. Комяк, О.А. Тарасенка, В.О. Комяка, Л.М. Куценка, Н.В. Литвина, С.В. Васильєва, О.П. Созніка й ін.

Незважаючи на об'єм нагромадженої інформації про лісові пожежі, на цей час не існує достатньо простої, адекватної і практично застосовної моделі поширення лісової пожежі, на базі якої можливе розроблення практичних планів локалізації та гасіння лісових пожеж. Тому для підвищення ефективності заходів щодо локалізації та гасіння лісових пожеж необхідним є моделювання поширення низової лісової пожежі з урахуванням таких факторів, як неоднорідний розподіл вологості горючого матеріалу й зміни параметрів приземного вітру. Таким чином, оцінювання впливу зміни параметрів вітру та неоднорідного й анізотропного розподілу вологості лісового пального матеріалу на динаміку низової лісової пожежі є актуальним науковим завданням і становить мету роботи.

Постановка задачі. Для визначення границь вигорання недостатньо знати тільки швидкість поширення фронтальної V_f , тилової V_b і флангової V_{fl} крайки пожежі щодо напрямку швидкості вітру V_w , необхідно розглядати залежності швидкості руху контуру від азимутального кута між напрямком швидкості вітру й напрямком поширення крайки пожежі

Запропоновано загальну математичну модель, що виходячи із загальноприйнятої гіпотези про еліптичну форму одиничного контуру вигорання, дає змогу за відомими значеннями V_f , V_b й V_{fl} , які отримані з експериментальних або теоретичних досліджень, розрахувати годограф швидкості поширення низової лісової (або степової) пожежі, який у полярній системі координат має вигляд

$$V(V_w, \phi) = \frac{b^2 \beta \cos \phi + \sqrt{b^4 \beta^2 \cos^2 \phi + a^2 b^2 (a^2 - \beta^2) \sin^2 \phi}}{b^2 \cos^2 \phi + a^2 \sin^2 \phi}, \quad (1)$$

де: ϕ – полярний кут, $2a = V_f + V_b$, $b = V_{fl}$, $\beta = (V_f - V_b)/2$, а полярна вісь збігається з напрямком вітру. Початок координат в обраній системі координат не збігається з фокусом еліпса, що принципово відрізняє запропоновану модель від наявних.

Використовуючи модель Теліцина [6] для V_f , V_b й V_{fl} , з (1) отримуємо вираз для годографа швидкості

$$V(V_w, \phi) = \frac{2V_0 a \cos \phi + (1 + a^2) \sqrt{\cos^2 \phi + (1 - a^2) \sin^2 \phi}}{\cos^2 \phi + (1 - a^2) \sin^2 \phi}, \quad (2)$$

де $V_0 = v_0 + kV_w$, а параметри k , v_0 , і c – відомі.

Використання моделі Коровіна [7] для V_f , V_b й V_{fl} та (1) призводить до виразу для годографа

$$V(V_w, \phi) = \frac{F_2 E^2 \cos \phi + F_1 E \sqrt{E^2 \cos^2 \phi + F_3 \sin^2 \phi}}{2E^2 \cos^2 \phi + F_1 \sin^2 \phi}, \quad (3)$$

де: A, B, C, D – параметри, $F_{1,2} = (A + DV_w^2) \pm (C + DV_w)$, $F_3 = (A + BV_w^2)(C + DV_w)$.

Зауважимо, що модель Теліцина дійсна для $V_w < 8$ м/с, а модель Коровіна – для $V_w < 2$ м/с. Деякі результати розрахунків годографа швидкості з використанням моделі (1), а також інших авторів наведено на рис. 1.

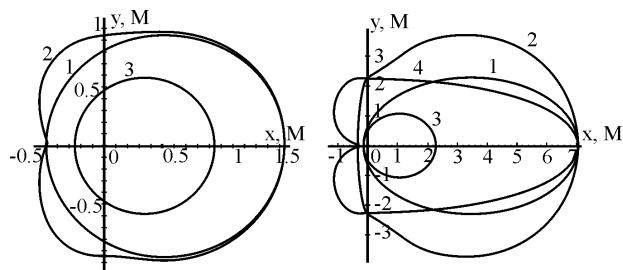


Рис. 1. Годограф швидкості за $V_w=1$ м/с (ліворуч) і $V_w=4$ м/с (праворуч): крива 1 – розрахунок за формулою (1); крива 2 – за моделлю М.П. Курбатського; крива 3 – за моделлю Г.О. Доррера; крива 4 – за моделлю В.О. Комяка і Р.Л. Покровського

Для врахування флуктуацій вітру припустимо, що V_w і ψ є неперервними та випадковими величинами із законом розподілу $f(V_w) = f(V_w, \psi)$. Внаслідок врахування флуктуацій вітру за силою й напрямком зводиться до знаходження, зокрема, математичного сподівання величини (1), у якому потрібно φ замінити на $\varphi + \psi$ (ψ – напрямок вітру щодо осі ОХ), з розподілом $f(V_w) = f(V_w, \psi)$, тобто величини $V(V_w, \varphi) = M(V_w, \varphi, \psi)$.

Показано, що розрахунки годографа швидкості з урахуванням флуктуацій параметрів вітру за нормального ($V_w > 2$ м/с) і рівномірного законів розподілу ($V_w < 2$ м/с) тільки зменшують значення V_f , слабко змінюючи V_{fl} й V_b . Тому для практичної мети у розрахунках контурів пожежі можна не враховувати зазначені флуктуації, тому що в цьому випадку для найнебезпечнішого напрямку поширення пожежі отримуємо "песимістичний" опис розвитку контуру.

У [1] запропоновано модель, що враховує неоднорідний та анізотропний розподіли вологості ЛПМ, відповідно до якої зміна вологості описується введенням в (1) множника K , що залежить від вологості ЛПМ ω і критичної вологості ω_c . Тоді годограф швидкості можна записати у вигляді

$$V(V_w, \varphi, \psi, \omega) = V(V_w, \varphi, \psi) \cdot K(\omega), \quad (4)$$

а значення $K(\omega)$ з експериментальних досліджень визначено в роботах Ротермела, Байрама й Софронова. Просторовий розподіл поля вологості можна описати виразом

$$\omega = \bar{\omega} \sum_i f_i(x, y), \quad (5)$$

де: $f_i(x, y)$ – набір певним чином обраних кусочно-безперервних функцій, x й y – координати на площині, по якій поширюється ландшафтна пожежа, $\bar{\omega}$ – деяка середня вологість ЛПМ.

У кожній точці контуру пожежі швидкість його поширення буде мати своє значення, що залежить, окрім змінних V_w , φ , ψ , ще й від вологості ω . Виходячи з аналізу термодинаміки поширення полум'я збільшення контуру пожежі по площині можна описати рівнянням

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \vec{V} \nabla f = 0, \quad (6)$$

де функція $f = f(x, y, t)$ описує контур. Шляхом переходу до полярної системи координат з рівняння (6) отримаємо аналітичний розв'язок у вигляді

$$R(V_w, \psi, \phi, t) = r_0(\phi + \chi) + \int_{t_0}^t V(V_w, \psi, \phi, \omega, t) dt, \quad (7)$$

де: функція $r_0(\varphi)$ описує контур вогнища пожежі в початковий момент часу t_0 , кут χ визначає його орієнтацію, а швидкість $V(V_w, \varphi, \psi, \omega, t)$ визначено згідно з (4), при цьому враховано, що швидкість поширення пожежі може залежати явно від часу t . Вираз (7) отримано без залучення додаткової гіпотези Маркштейна.

Через певний час T форма пожежі в основних своїх вимірах за суттю "забуває" про форму вогнища загоряння. Як вихідні вогнища загоряння розглянуто такі плоскі фігури: окружність, квадрат (рис. 2) та овали Кассіні, площа яких змінювалася від $S_0=160$ м² до $S_0=800$ м².

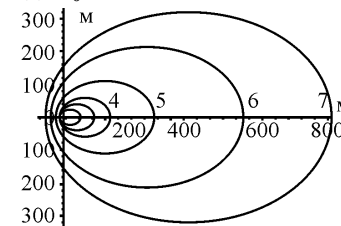


Рис. 2. Початковий осередок квадратний, $S_0=162$ м². Для кривих 1-7 $t = 1, 10, 20, 30, 60, 120, 180$ хв $V_w=3$ м/с

З порівняння відповідних кривих на рис. 2 та інших наших розрахунків можна зробити висновок, що залежність форми контуру пожежі від величини S_0 в разі її збільшення 4 рази, є дуже малою ($\leq 5\%$) вже за $t=30$ хв, а зі збільшенням t значення S_0 практично не впливає на форму й розміри контуру пожежі. Для визначення часу "забування" T пропонуємо визначити коефіцієнт "забування" таким чином:

$$K(\varphi, t) = \tan \omega(\varphi, t) = R(\varphi, t) / R'(\varphi, t), \quad (8)$$

де: $\omega(\varphi, t)$ – кут між радіус-вектором, проведеним під кутом φ у момент часу t , і дотичний до контуру пожежі за тих же значень φ й t . За точкового вогнища загоряння ($r_0(\varphi + \chi) = 0$) і будь-якого фіксованого кута φ маємо $K(\varphi, t) = \text{const}$, тобто цей коефіцієнт не залежить від часу t . Якщо $r_0(\varphi + \chi) \neq 0$, то за $t \rightarrow \infty$ також отримуємо, що коефіцієнт $K(\varphi, t)$ не залежить від t . Отже, значення часу t , за якого $K(\varphi, t)$, змінюючись із ростом t , виходить на постійне значення $K_{\max}$, можна інтерпретувати як час "забування" T .

З результатів розрахунків $K(\varphi, t)$, впливає, що за малих значень t величини коефіцієнтів $K(\varphi, t)$ швидко змінюються, а за $t=40-60$ хв ця зміна сповільнюється й значення $K(\varphi, t)$ починає плавно наближатися до сталої величини. Такий характер поведінки $K(\varphi, t)$ з ростом t не залежить, як зазначено вище, ні від форми й розмірів вогнища загоряння, ні від напрямку вітру. Тому можна зробити висновок, що час "забування" T для розглянутих варіантів становить від 40 до 60 хв. Зокрема за $t=60$ хв відношення $K(\varphi, t) / K_{\max}(\varphi)$ не перевищує значення 0,911 при будь-яких кутах φ і будь-яких формах вогнища загоряння.

Досліджено вплив неоднорідного й анізотропного розподілу вологості ЛПМ на форму контуру вигоряння. На рис. 3 наведено розраховані з використанням формул (4) і (7) контури пожежі для неоднорідного розподілу вологості. Розрахунки виконано для початкового вогнища загоряння у формі кола з радіусом $R_0=3$ м за швидкості вітру $V_w=2$ м/с. У розглянутому випадку вологість

зростає (приблизно на 40 %), а поле має два максимуми на околах точок з координатами (10 і 20 м) і (20 і 20 м), що відрізняються за висотою.

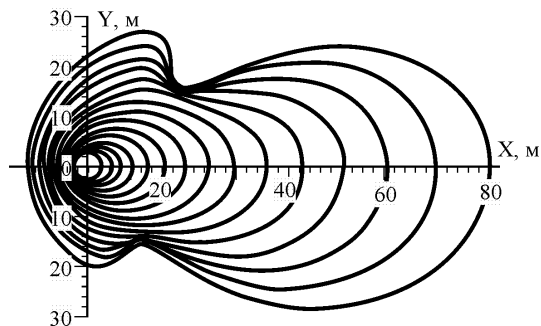


Рис. 3. Динаміка контуру поширення ландшафтної пожежі до $t=32$ хв із $\Delta t=2$ хв. Напрямок вітру уздовж осі OX ($\psi=0$)

Запропонована модель дає змогу врахувати зміни параметрів вітру шляхом простого введення залежностей $V_w=V_w(t)$ і $\psi=\psi(t)$ у припущенні, що величини V_w і ψ незалежні один від одного. На рис. 4, а представлено результати розрахунків контурів пожежі в разі змін вітру за силою й напрямком для поля вологості, поданого на рис. 4, б. Розрахунки виконано для початкового вогнища загоряння у формі кола з радіусом $R_0=3$ м за $V_{w0}=2$ м/с.

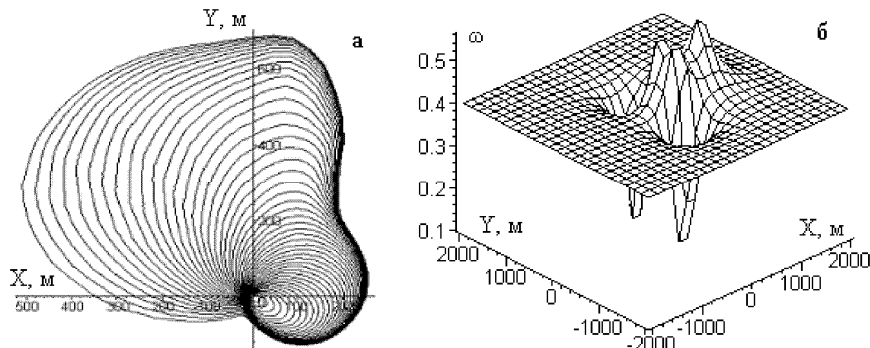


Рис. 4: а – Контури поширення пожежі за $V_w=V_w(t)$ і $\psi=\psi(t)$, $T=200$ хв, ψ змінюється від $-\pi/4$ до π ; б – Розподіл поля вологості

Висновки. З порівняння контурів, зображених на рис. 4, а із кроком за часом $\Delta t=4$ хв, видно, що залежності швидкості від часу призводять до істотних змін як форм контурів розвиненої пожежі, так і напрямків їх найнебезпечніших поширень. Таким чином, форма контуру пожежі в разі врахування варіацій параметрів вітру і вологості горючого матеріалу істотно відрізняється від простої еліптичної форми.

Література

1. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров / А.М. Гришин. – Томск : Изд-во Томск. Ун-та, 1981. – 277 с.

2. Беспалов М.С. Физико-математическая модель лесных пожаров / М.С. Беспалов // Математика. Компьютер. Образование : матер. тр. конф. – М. : Изд-во "Прогресс-Традиция". – 2000. – Вып. 7, ч. 2. – С. 419-422.

3. Абрамов Ю.А. Описание развития лесного пожара в виде случайного ветвящегося процесса / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко // Интегровані технології та енергозбереження. – Харків : Вид-во НТУ "ХП". – 2002. – Вып. 3. – С. 52-59.

4. Комяк В.А. Геометрическое моделирование в прогнозах динамики развития лесного пожара для неоднородного слоя / В.А. Комяк, Р.Л. Покровский // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков : Изд-во АО "Фолио". – 2001. – Вып. 10. – С. 77-80.

5. Калиновский А.Я. Геометрическая модель скорости распространения ландшафтного пожара с учетом флуктуаций ветра // Геометричне та комп'ютерне моделювання : зб. наук. праць. – Харків : Вид-во ХДУХТ. – 2005. – Вып. 12. – С. 45-48.

6. Телицын Г.П. Зависимость скорости распространения низовых пожаров от условий погоды / Г.П. Телицын // Сборник Трудов ДальНИИЛХ. – 1965. – Вып. 7. – С. 390-405.

7. Коровин Г.Н. Методика расчета некоторых параметров низовых лесных пожаров // Лесные пожары и борьба с ними : сб. науч. тр. – Л. : Изд-во ЛенНИИЛХ. – 1969. – С. 244-262.

8. Курбатский Н.П. Классификация лесных пожаров / Н.П. Курбатский // Вопросы лесоведения : сб. науч. тр. – Красноярск : Изд-во ИЛД СО АН СССР, 1970. – С. 384-407.

9. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров / Г.А. Доррер. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1979. – 160 с.

10. Нестационарное распространение пламени / под ред. Д. Маркштейна. – М. : Изд-во "Мир", 1968. – 437 с.

Мовчан І.А. Математическое моделирование динамики лесного пожара для повышения эффективности его локализации

На основании анализа современного состояния проблемы установлено, что, несмотря на объем накопленной информации о лесных пожарах, в настоящее время не существует достаточно простой, адекватной и практически применимой модели распространения лесного пожара, на базе которой возможна разработка практических планов локализации и тушения лесных пожаров. Построена математическая модель и проведена оценка влияния изменения параметров ветра и распределения влажности лесного горючего материала на динамику низового лесного пожара. Из сравнения контуров распространения пожара установлено, что зависимости скорости от времени приводят к существенным изменениям как форм контуров развитого пожара, так и направлений его опасных распространений. Таким образом, форма контура пожара при учете вариаций параметров ветра и влажности горючего материала существенно отличается от простой эллиптической формы.

Ключевые слова: динамика низового лесного пожара, эффективность локализации, распределение влажности лесного горючего материала.

Movchan I.A. Mathematical Modelling of the Dynamics of Forest Fire for Greater Efficiency of its Localization

Based on the analysis of the current state of the problem, we revealed that despite the amount of accumulated information on forest fires, nowadays there is no simple enough, adequate and practically applicable model of forest fire spread, applying which it is possible to develop practical plans for localization and extinguishing forest fires. A mathematical model is built. The impact of changes in the parameters of wind and moisture distribution of forest fuel on the dynamics of grassroots forest fire is assessed. A comparison of fire spread contours allows date mining that the dependence of velocity on time occasionally leads to significant changes in both contour forms of developed fire, and the most dangerous areas of its spread. Thus, the shape of the fire contour significantly differs from a simple elliptical shape taking into account variations in humidity and wind parameters of combustible material.

Keywords: dynamics of grassroots forest fire, the effectiveness of the localization, distribution of forest fuel moisture.