

*А.Я. Калиновский, канд.техн.наук, доцент, НУГЗУ,
А.П. Созник, доктор ф.-м. наук, профессор, НУГЗУ,
Л.Н. Куценко, доктор техн. наук, профессор НУГЗУ*

МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛАНДШАФТНОГО ПОЖАРА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА

Исследовано влияние неоднородности горючего материала по влажности на распространения ландшафтного пожара. Показано влияние неоднородности поля влажности на распространение контура ландшафтного пожара.

Ключевые слова: ландшафтный пожар, поле влажности, скорость распространения, контур выгорания.

Постановка проблемы. Одним из основных вопросов противопожарной охраны лесов является прогнозирование динамики распространения контура пожара по определенной территории, то есть нахождения зависимости формы и размеров контура от времени t . Знание параметров контура лесного (ландшафтного) пожара позволяет сделать правильный выбор методов тушения пожара [1,2]. Известно [1-4], что контур пожара может иметь самую разнообразную форму, поскольку скорость распространения пожара зависит от большого числа различных природных факторов.

Анализ последних исследований и публикаций. В [5] рассмотрена геометрическая модель скорости распространения ландшафтных пожаров, согласно которой

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

где $V_0 = v_0 + kv_B$, $\alpha = v_B / \sqrt{v_B^2 + c^2}$, $x = \varphi + \psi$, v_B и ψ сила ветра и его направление относительно полярной оси, которая совпадает с осью ОХ, φ – азимутальный угол, v_0 – скорость распространения пожара при $v_B = 0$. Из этого следует, необходимость исследования зависимости скорости распространения ландшафтных пожаров от некоторых природных факторов, так как параметры модели v_0 , k и c зависят от состава и состояния горючего материала и приведены в [6]. Отметим, что формула (1) описывает скорость распространение пожара на рав-

нинной местности, а ее справедливость подтверждена многочисленными экспериментальными исследованиями (см. [2]).

Постановка задачи и ее решение. Скорость пожара зависит от многих природных факторов, в том числе от влажности горючего материала. Чтобы объективно описать процесс распространения ландшафтного пожара необходимо учитывать влажность растительного покрова, по которому происходит распространение горения.

Для того чтобы учесть поля влажности в аналитическом виде мы вводим в выражение для скорости (1) в виде множителя коэффициент K , который позволяет описать неоднородную влажность w растительного покрова. В [1, 7, 8] из экспериментальных исследований получена полуэмпирическая зависимость K от w :

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

где w_0 – критическое значение влажности. Из (2) следует, что $K=f(w_0)=0$ и $K=f(0)=1$.

Чтобы воспользоваться выражением (2) необходимо знать значения влажности w во всех точках территории, по которой распространяется пожар, т.е. иметь поле распределения влажности. Такое поле, в принципе, всегда можно описать выражением типа

$$w = \sum f_i(x, y), \quad (3)$$

где $f_i(x, y)$ – определенный набор подходящим образом выбранных кусочно-непрерывных функций, а x, y – координаты на плоскости, где происходит ландшафтный пожар.

В результате, учитывая (1), (2) и (3) и считая, что (1) не зависит явно от времени, выражения для расчета зависимости контура пожара от времени t и влажности w удобно представить в виде

$$R_i = R_{i-1} + V(\varphi, \psi, v_B) K_{i-1}(t_{i-1} - t_0), \quad i=1, 2, \dots \quad (4)$$

В (4) при $i=1$ выражение R_0 описывает контур пожара в начальный момент времени t_0 . Использование выражения (4) предполагает следующий расчетный алгоритм. По данному значению R_0 вычисляем координаты $x=R_0 \cos \varphi$ и $y=R_0 \sin \varphi$ и находим поле влажности согласно (3) в точках контура пожара в момент времени t_0 . По данным значениям w вычисляем поле коэффициента (2). Полученное значение коэффициента K , как и значение R_0 , подставляем в (4) и находим

контур пожара R_1 в момент времени $t_1=t_0+\Delta t_1$, после чего вновь повторяем указанную процедуру расчетов.

В качестве примера нами рассмотрено следующее простое овалоподобное распределение поля влажности

$$w = W \left\{ 1 - \frac{\alpha_1}{A(x - x_0)^2 + B(y - y_0)^2 + 1} \right\}, \quad (5)$$

где $W=0,4$ средняя влажность горючего материала, параметры A, B, α_1 – константы описывающие протяженность данного поля, x_0, y_0 – определяют положение поля влажности. Отметим, что при $\alpha_1 > 0$ выражение (5) описывает уменьшение влажности в окрестности т. (x_0, y_0) , а при $\alpha_1 < 0$ – увеличение влажности w .

На рис. 1 приведены примеры полей влажности: вариант а – когда влажность увеличивается ($\alpha_1=-0,5$) и вариант б – когда уменьшается $\alpha_1=0,5$.

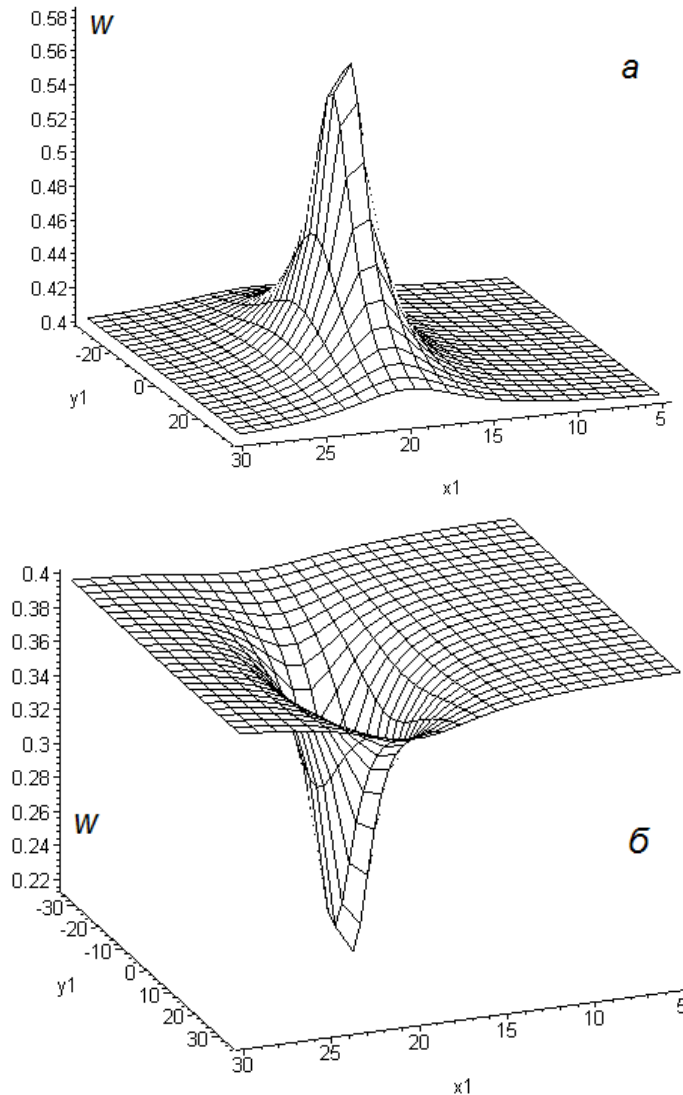


Рис. 1 Поле влажности, которое описывается w , (при $A=0,5, B=0,01$).

Используя выражения (1), (2), (4) и (5), нами рассчитаны контуры пожара с учетом изменения влажности горючего материала. Результаты расчетов при $\alpha_1 = -0,5$ и $x_0 = 20$ м, $y_0 = 5$ м в (5) и значениях А и В как на рис. 1, представлены на рис. 2, из которого видно, что когда контур пожара приближается к т. (x_0, y_0) , в окрестности которой влажность возрастает, его движение замедляется и особенно сильно вблизи (x_0, y_0) . В результате контур пожара деформируется и на нем возникают изгибы направленные внутрь контура. Отметим, что при отсутствии других аномалий в распределении влажности, с течением времени будет происходить залечивание контура [4].

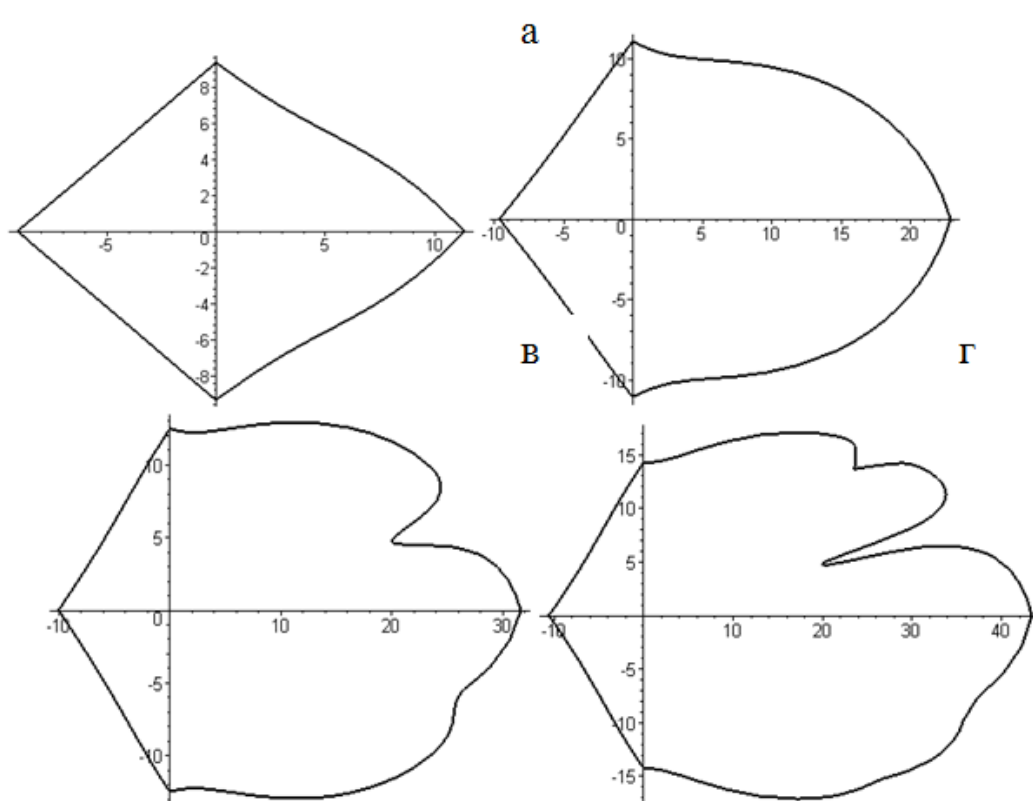


Рис. 2 Контур распространения ландшафтного пожара. Начальный очаг в форме квадрата с площадью $S_0 = 162 \text{ м}^2$. Расстояние по осям в метрах, $v_B = 3$ м/с. Кривые а, б, в, г соответствуют $t = 1, 3, 4, 5$ мин.

Введение дополнительных слагаемых в (3) не изменяет алгоритм нахождения контура пожара, однако его форма даже при небольших изменениях влажности будет существенно отличаться от простой эллиптической формы [4, 5].

Выводы. Нами показано, что существенное влияние на форму и размеры контура оказывает неоднородное распределение влажности. В дальнейшем необходимо в нашей модели учесть форму рельефа местности на скорость распространения контура ландшафтного пожара.

ЛИТЕРАТУРА

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

А.Я. Калиновський, О.П. Сознік

Модель розповсюдження ландшафтної пожежі з урахуванням вологості горючого матеріалу.

Досліджено вплив неоднорідності горючого матеріалу за вологістю на розповсюдження ландшафтної пожежі. Показано вплив неоднорідності поля вологості на розповсюдження контуру ландшафтної пожежі.

Ключові слова: ландшафтна пожежа, поле вологості, швидкість розповсюдження, контур вигорання.

A.Y. Kalinovskiy, A.P. Sozник

Model distribution of landscape fires including flammable material humidity.

The influence of the heterogeneity of combustible material in moisture on the distribution of landscape fire. Shows the effect of field inhomogeneity humidity on the distribution of the contour of landscape fire.

Keywords: landscape fire, field moisture, speed of distribution, contour of burning down.