

*А.Я. Калиновский, канд. техн. наук, доцент, НУГЗУ*

**МОДЕЛЬ НАХОЖДЕНИЕ ПЕРИМЕТРОВ И ПЛОЩАДЕЙ  
ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ  
С УЧЕТОМ ФЛУКТУАЦИЙ ИХ ПАРАМЕТРОВ**  
(представлено д-ром техн. наук Басмановым А.Е.)

Показано, что величина периметра для простейшего пожара в форме эллипса возрастает линейно со временем. Наличие неоднородного и анизотропного распределения поля влажности приводит к заметному отличию от линейного закон возрастания. Получена аналитическая модель маршрута перемещения пожарного подразделения при локализации простого ландшафтного пожара, которая позволяет рассчитывать некоторые оптимальные параметры тактических решений по ликвидации пожара.

**Ключевые слова:** ландшафтные пожары, низовые лесные пожары, неоднородность распределения ЛГМ по влажности, локализация простого ландшафтного пожара.

**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 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 факторов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Согласно предложенной модели [4], контур пожара в произвольный момент времени  $t$  описывается непрерывной и однозначной функцией  $R(V_w, \psi, \varphi, t)$  от переменной  $\varphi$ . Знание такой функции позволяет вычислить площадь пожара  $S(V_w, \psi, t)$  и периметр кромки выгорания  $P(V_w, \psi, t)$ . В частности для годографа [4] в случае простого пожара и точечного очага загорания получаем

$$S(V_w, t) = \pi V_0^2 (1 + \alpha^2) t^2 = \pi (v_0 + kV_w)^2 \left(1 + \frac{V_w^2}{V_w^2 + c^2}\right) t^2, \quad (1)$$

а использование (3) приводит к выражению

$$S(V_w, t) = \frac{1}{2} \pi (A + E + BV_w^2)(C + DV_w) t^2. \quad (2)$$

**Постановка задачи и ее решение.** Контур выгорания при простом пожаре и при временах  $t > T$  приобретает практически форму эллипса. Поэтому выражения (1) и (2) можно использовать для приближенного вычисления площадей. При этом ошибка вычислений уменьшается с увеличением времени и для меньших значений  $S_0$  эта ошибка будет меньше. В частности, расчет площади при  $t=60$  мин и  $V_w=2$  м/с по точной и приближенным формулам (1) и (2) для  $S_0=684$  м<sup>2</sup> дает ошибки не превышающие 12% и 8% соответственно, а для  $S_0=162$  м<sup>2</sup> – 4% и 2%.

Для периметра контура пожара в тех же предположениях, что и для площадей, получаем выражения

$$P(V_w, t) = \frac{3}{2} \pi (v_0 + kV_w) \left(1 + \frac{2}{3} \frac{V_w^2}{V_w^2 + c^2}\right) t, \quad (3)$$

$$P(V_w, t) = \frac{1}{2} \pi (A + C + E + DV_w + BV_w^2) t, \quad (4)$$

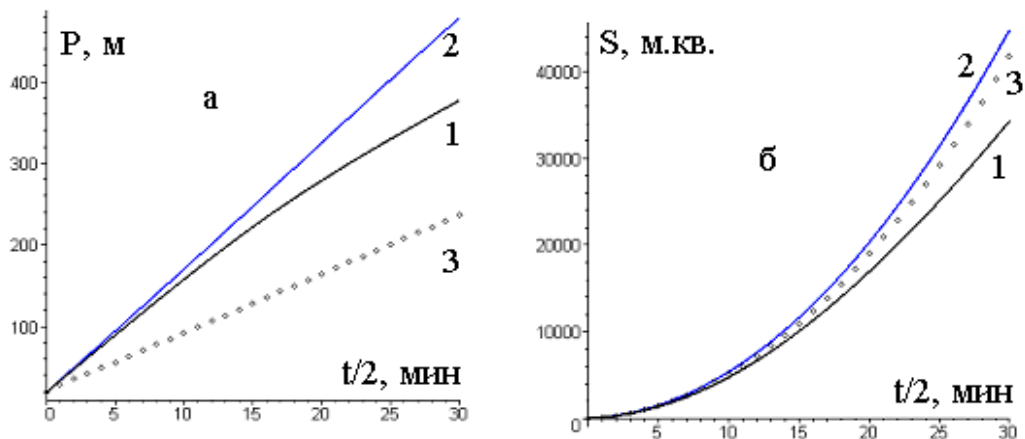
а оценки для ошибок при вычислении периметра по точной формуле и приближенным (3), (4) формулам получаются приблизительно такими же, как в случае расчета площадей.

Результаты расчетов периметров  $P$  и площадей  $S$  представлены на Рис. 1. Начальный очаг загорания имеет форму окружности с радиусом  $R=3$  м, а кривые 3 соответствуют контурам пожара при однородной влажности, которые в этом случае имеют вид эллипсов.

Из рис. 1 и результатов других наших расчетов можно сделать такие выводы. Величина периметра  $P$  для простейшего пожара в форме эллипса со временем  $t$  возрастает линейно. Наличие неоднородного и анизотропного распределения поля влажности приводит к заметному отличию от линейного закон возрастания.

При этом в обоих случаях происходит существенное искажение форм контуров. Площади пожара со временем возрастают по квадратичному закону. Величина площади в случае возрастания влажности увеличивается медленнее (кривая 1) по сравнению с однородным случаем (кривая 3) и быстрее (кривая 2) – в случае уменьшения влажности. В момент времени  $t=60$  мин площадь контура 1 будет больше на 5%, а площадь контура 2 – меньше на 19% по сравнению с площадью контура простого пожара. Однако, благодаря тому, что в обоих случаях происходит заметное искажение формы контуров, длины периметров при

этом возрастают быстрее, чем в случае распространения пожара в однородной по влажности среде (см. кривые 1, 2 на рис. 1). В частности, для приведенных на рис. 1 контуров через время  $t=60$  мин их длина при наличии увеличивающейся (уменьшающейся) влажности в 1,6 раза (в 2 раза) больше, чем в случае однородного распределения влажности.



**Рис. 1 – Графики зависимостей периметра и площади пожара от времени, которые соответствуют контурам с учетом неоднородности распределения влажности ЛГМ: а –  $P(t)$ , б –  $S(t)$ . Кривые 1 соответствуют возрастанию влажности, кривые 2 – убыванию, кривые 3 – расчет с однородной влажностью.**

Рассмотрена модель локализации простого лесного пожара в предположении, что тушение пожара осуществляется силами одного подразделения, движение которого на протяжении всего времени тушения осуществляется вдоль расширяющегося со временем контура пожара с постоянной скоростью  $V_T$ . Если отправная точка начала тушения пожара определяется углом  $\varphi_1$ , а тушение начинается в момент времени  $t_1$ , то траектория движения сил пожаротушения будет описываться уравнением

$$U(\varphi, \varphi_1, t_1) = r(\varphi_1) + V(\varphi_1) \exp G(\varphi, \varphi_1), \quad (5)$$

$$G(\varphi, \varphi_1) = \int_{\varphi_1}^{\varphi} d\varphi \frac{V_T^2 - V^2 - V_\varphi^2}{VV_\varphi - \sqrt{V_T^2 V_\varphi^2 - (V_T^2 - V^2)^2}}.$$

При допущении о локализации пожара в случае полного обхода ( $\varphi = \varphi_1 + 2\pi$ ) контура пожара, на основании выражения (5) получены примеры маршрутов перемещения сил и средств пожаротушения (Рис.2).

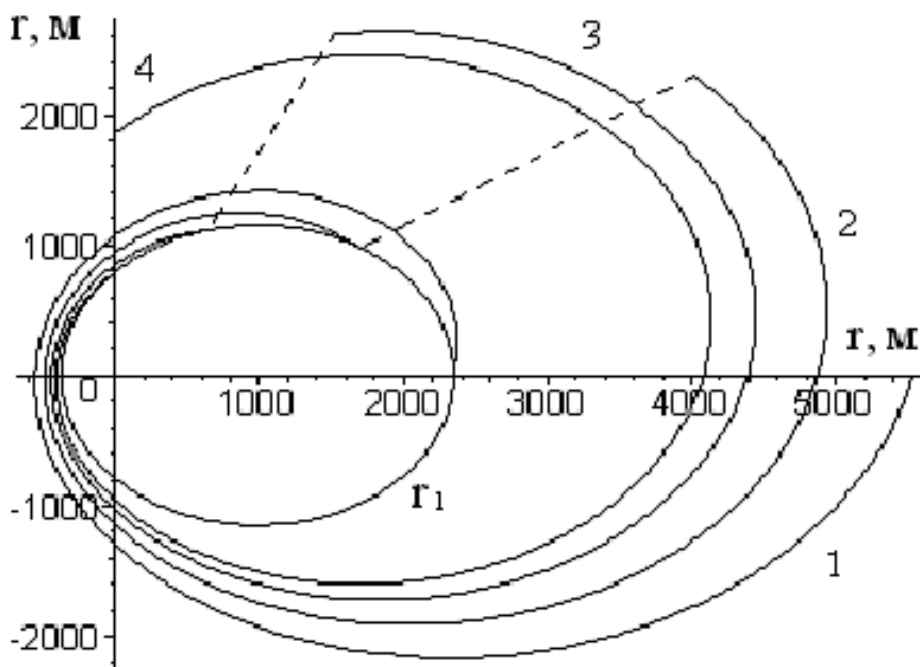


Рис. 2 – Траектория движения при начальном местоположении сил пожаротушения: 1-  $\varphi_1 = 0$ ; 2-  $\varphi_1 = \pi/6$ ; 3-  $\varphi_1 = \pi/3$ ; 4 -  $\varphi_1 = \pi/2$

Таким образом получена аналитическая модель маршрута перемещения пожарного подразделения при локализации простого ландшафтного пожара. Данная модель позволяет рассчитывать некоторые оптимальные параметры тактических решений по ликвидации пожара. Кроме того рассмотренный выше подход может быть обобщен на случай тушения лесного пожара несколькими подразделениями, которые начинают тушение в разных точках контура в разные или одинаковые моменты времени.

Для дополнительной проверки адекватности предложенной модели был проведен сравнительный анализ результатов наших расчетов контура пожара с модельными расчетами Кулешева А.А. Отметим, что приведенный в работе Кулешева А.А. контур выгорания получен в результате численного решения системы дифференциальных уравнений, относящихся к локальным моделям распространения контура (ЛМРК) и являющихся упрощенным вариантом модели Гришина А.М.

На Рис. 3 представлены контуры выгорания при низовом лесном пожаре при скорости ветра  $V_w=2$  м/с, направление которого противоположно оси ОХ. Начальный очаг загорания имеет вид круга с центром в т. С(200,120) и радиусом 10 м. Кривая 1 представляет контур пожара на момент времени  $T=70$  мин, рассчитанный при стандартных значениях параметров  $v_0=0,0067$  м/с,  $k=0,0075$  и  $c=3,5$  м/с, без всяких попыток их подгонки. Кривая 2 результат расчетов, кото-

рые представлены в работе Кулешова А.А.

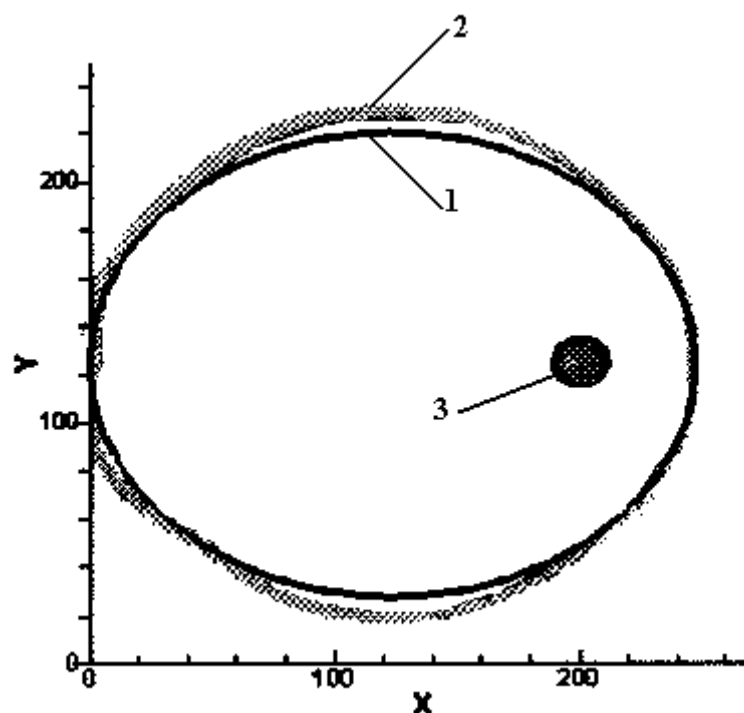


Рис. 3.—Контуры выгорания низового лесного пожара. Расстояния по осям в метрах. Кривые 1 – контур рассчитанный при помощи формулы (2), 2 – контур, приведенный в работе Кулешова А.А., 3 – очаг пожара.

Получено хорошее согласие результатов расчетов по модели Кулешова А.А. и с использованием предложенного годографа [4], особенно для фронтальной и тыловой кромок пожара. Различие для фланговых кромок пожара не превышает 9%. При этом время расчета кривой 1 не превышает 1 мин, что является существенным преимуществом предложенной нами модели для оперативного прогнозирования развития ландшафтных пожаров.

**Выводы.** Показано, что величина периметра  $P$  для простейшего пожара в форме эллипса возрастает линейно со временем  $t$ . Наличие неоднородного и анизотропного распределения поля влажности приводит к заметному отличию от линейного закон возрастания. Показано, что площади пожара со временем возрастают по квадратичному закону. Величина площади в случае возрастания влажности увеличивается медленнее по сравнению с однородным случаем и быстрее – в случае уменьшения влажности. Показано, что учет неоднородного и анизотропного распределения влажности приводит к существенному увеличению периметра пожара.

Получена аналитическая модель маршрута перемещения пожарного подразделения при локализации простого ландшафтного

пожара, которая позволяет рассчитывать некоторые оптимальные параметры тактических решений по ликвидации 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.

nuczu.edu.ua

А.Я. Калиновський

**Модель знаходження периметр і площу ландшафтних пожеж з урахуванням флуктуації їх параметрів**

Показано, що величина периметру для найпростішої пожежі у формі еліпса зростає лінійно з часом. Наявність неоднорідного і анізотропного розподілу поля вологості призводить до помітної відмінності від лінійного закону зростання. Отримано аналітичну модель маршруту переміщення пожежного підрозділу при локалізації простого ландшафтною пожежі, яка дозволяє розраховувати деякі оптимальні параметри тактичних рішень по ліквідації пожежі.

**Ключові слова:** ландшафтні пожежі, низові лісові пожежі, неоднорідність розподілу ЛПМ по вологості, локалізація простого ландшафтного пожежі.

A.Y. Kalinovskiy

**Model finding perimeter and area of landscape fires, taking into account the fluctuations of their parameters**

It is shown that the value for the perimeter of the fire in the simplest form of the ellipse increases linearly with time. The presence of anisotropic and inhomogeneous field distribution of moisture leads to noticeable differences from the linear law of growth. The analytical model route moving fire department in the localization of a simple landscape fires, which allows to calculate some optimal tactical decisions for fire suppression.

**Keywords:** landscape fires, grassroots forest fires, heterogeneous distribution of FCM on humidity, localization of a simple landscape fire.