

*Кривошлыков С.Ф., адъюнкт, УГЗ Украины*  
*Абрамов Ю.А., д-р техн. наук, профессор, УГЗ Украины*  
*Тарасенко А.А., к-т техн. наук, ст. преподаватель, УГЗ Украины*

## **МОДЕЛЬ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПРОСТОГО ЛАНДШАФТНОГО ПОЖАРА С ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМОЙ ОЧАГА**

Предложена модель маршрута перемещения сил и средств пожаротушения при локализации простого ландшафтного пожара для неидеализированного очага. Учитывается влияние ветра.

**Постановка проблемы.** Для успешной локализации ландшафтного пожара необходимо использовать тактику тушения, которая приводит к наискорейшей ликвидации пожара. Решить данную задачу можно с помощью оптимизационной процедуры. На ее выходе должна быть получена рекомендованная тактика тушения пожара, которая предписывает первоначальное размещение сил и средств на контуре очага таким образом, чтобы длина локализационных кривых была наименьшей. Очевидно, что для этого необходимо уметь строить траекторию движения сил пожаротушения при локализации пожара.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Ранее в [1, 2] нами получены модели траектории движения сил и средств пожаротушения для основных тактических приемов [3]. Особенностью их является использование модельного очага в виде эллипса, большая полуось которого направлена по ветру. Очевидно, что такой очаг может возникнуть лишь в абсолютно однородных условиях, что для реального ландшафта невозможно.

В [4] предложена модель траектории движения сил пожаротушения методом «подвижных сеток».

**Постановка задачи и ее решение.** Простым пожаром называется пожар, который распространяется в однородных растительно-ландшафтных условиях при постоянной скорости ветра. В тоже время, как показано в [5], в силу микронеоднородностей слоя растительного горючего материала, очаг пожара с течением времени будет принимать форму все более отличную от формы эллипса. В связи с этим является актуальной задача моделирования траектории движения сил и средств при локализации очага произвольной формы.

Модель траектории движения сил пожаротушения. На основе модели распространения пожара [6] в работе [7] получена аналитическая модель траектории движения сил пожаротушения, движущихся вдоль кромки

пожара в положительном направлении. При этом очаг представлял собой эллипс. Допущение о неизменности природно-ландшафтных условий в этом случае приводит к эволюции контура пожара в виде того же эллипса, и контур задается семейством эквидистантных параллельных кривых. С математической точки зрения это делает возможным разделение переменных в уравнении (9) (см. [7]) и далее получение аналитической модели.

В случае же произвольного (не эллипса) контура очага, разделение переменных произвести не удастся.

Угловая скорость перемещения сил пожаротушения, полученная в [7]

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\sqrt{V_T^2 [r'_0 + V'(t - t_0)]^2 + (V_T^2 - V^2) [r_0 + V(t - t_0)]^2} - V(r'_0 + V'(t - t_0))}{[r'_0 + V'(t - t_0)]^2 + [r_0 + V(t - t_0)]^2}, \quad (1)$$

где  $\varphi$  - полярный угол (рад),  $t$  - время (мин),  $V=V(\varphi)$  - годограф скорости распространения пожара (м/мин) [6],  $V_T$  - линейная скорость тушения кромки пожара (м/мин),  $r_0 = r_0(\varphi)$  - контур тушения (м) в момент  $t_0$  (время начала тушения). Отметим, что пожар возникает в момент  $t=0$ , а все производные берутся по переменной  $\varphi$ .

В случае произвольности  $r_0(\varphi)$  переходим от дифференциалов к конечным приращениям, и получаем

$$\Delta t = \frac{([r'_0 + V'(t - t_0)]^2 + [r_0 + V(t - t_0)]^2) \Delta \varphi}{\sqrt{V_T^2 [r'_0 + V'(t - t_0)]^2 + (V_T^2 - V^2) [r_0 + V(t - t_0)]^2} - V(r'_0 + V'(t - t_0))}. \quad (2)$$

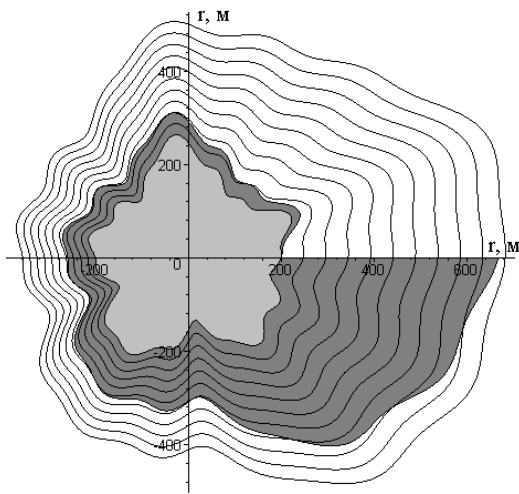
Используя циклическую процедуру, алгоритм которой сходен с алгоритмом, приведенным в [5], можно найти траекторию движения сил пожаротушения с помощью выражения [7]

$$R(\varphi, \varphi_0, t) = r_0(\varphi) + V(\varphi)(t - t_0). \quad (3)$$

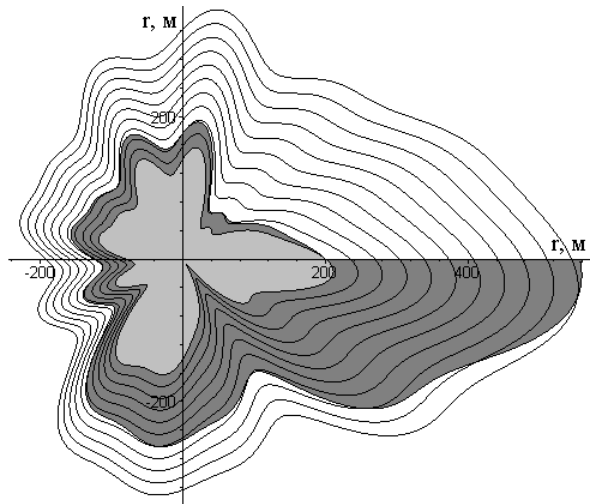
В программной среде Maple-8 нами была создана программа, которая позволяет, задавая параметры  $\Delta\varphi, r_0(\varphi), t_0, V_T, V(\varphi)$ , получать примеры траекторий движения сил пожаротушения.

Вводя искусственное допущение о локализации пожара в случае полного обхода очага, т.е.  $\varphi = \varphi_0 \div \varphi_0 + 2\pi$  нами получены примеры таких траекторий (рис. 1-3). На приведенных рисунках светло-серым цветом

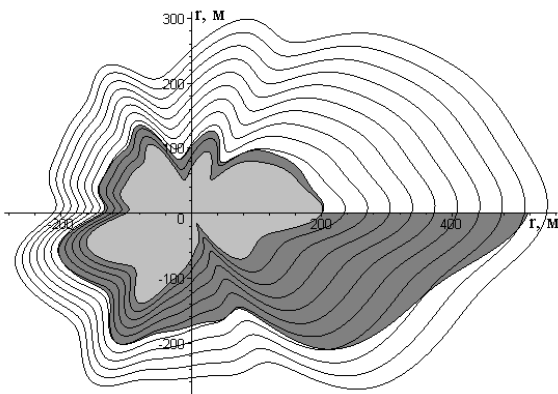
изображен очаг в момент начала тушения  $t_0$ , темно-серым – область пожара с момента  $t_0$  до момента полной локализации.



**Рис. 1.**  $s_0=12,8$  га,  $S=36,9$  га,  
 $L=2,34$  км,  $T=340$  мин



**Рис. 2.**  $s_0=4,4$  га,  $S=15,8$  га,  
 $L=1,79$  км,  $T=258$  мин



**Рис. 3.**  $s_0=4,31$  га,  $S=13,6$  га,  
 $L=1,59$  км,  $T=230$  мин

Для всех рисунков  
 $\varphi_0 = 0$ ;  $t_0 = 100$  мин;  
 $V_T=6,9$  м/мин;  
скорость ветра – 1 м/с

Кроме того, данная программа позволяет численно (при малом значении  $\Delta\varphi$  и  $P=[2\pi/\Delta\varphi]+1$ ) находить следующие интегральные характеристики пожара:

- площадь очага пожара  $s_0$

$$s_0 = \frac{\Delta\varphi}{2} \sum_{i=0}^{P-1} r_i r_{i+1}, \quad (4)$$

где  $r_i = r(\varphi_0 + i \cdot \Delta\varphi)$ ;

- площадь области пожара  $S$

$$S = \frac{\Delta\varphi}{2} \sum_{i=0}^{P-1} R_i R_{i+1}, \quad (5)$$

где  $R_i = R(\varphi_0 + i \cdot \Delta\varphi)$ ;

- длину траектории движения сил пожаротушения  $L$  (согласно теореме косинусов)

$$L = \sum_{i=0}^{P-1} \sqrt{R_i^2 + R_{i+1}^2 - 2R_i R_{i+1} (1 - [\Delta\varphi]^2 / 2)}; \quad (6)$$

- время локализации пожара  $T$

$$T = \sum_{i=0}^{P-1} t_i. \quad (7)$$

Отметим, что при выбранном нами значении  $\Delta\varphi = 0,01\pi$  продолжительность выполнения программы не превышает 10 секунд, т.е. никак не влияет оперативность тушения.

Кроме того, нами был проведен тест, в котором в качестве  $r_0$  была выбрана константа и скорость тушения  $V_T \gg V(0)$ , что соответствовало области пожара в виде круга. Сравнение численных результатов с аналитическими тестовыми дало расхождение, не превышающее 0,1%.

**Выводы.** Создана эффективная численная процедура построения траектории движения сил пожаротушения при локализации пожара с очагом произвольной формы, что позволит в дальнейшем оптимизировать процесс тушения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кривошликов С.Ф., Абрамов Ю.О., Тарасенко О.А. Моделирование маршрутов локализации простого ландшафтного пожара // Проблемы пожарной безопасности. Вып. 18. – Харьков: Фолио.- 2005. С. 98-101.

2. Абрамов Ю.О., Кривошликов С.Ф., Тарасенко О.А. Моделирование маршрутов руху сил та засобів пожежегасіння при локалізації низової лісової пожежі // Пожежна безпека. №6. - Львів: ЛІПБ. – 2005. С.19-21.

3. Курбатский Н.П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М.: Гослесбумиздат, 1962.- 154 с.

4. Доррер Г.А. Теория распространения пожара как волнового процесса: Автореф.дис...д-ра техн. наук: 06.03.03./ ИЛиД СО АН СССР.- Красноярск, 1989.- 45 с.

5. Абрамов Ю.А., Росоха В.Е., Тарасенко А.А. Влияние пространственных флуктуаций пирологических параметров среды на интегральные характеристики низового лесного пожара и условия его тушения. Харьков: АГЗ Украины, 2004. – 142 с.

6. Басманов А.Е. Созник А.П., Тарасенко А.А. Экспериментально-аналитическая модель скорости распространения низового лесного пожара // Проблемы пожарной безопасности. Вып. 11. – Харьков: Фолио. - 2002. С. 17-25.

7. Калиновский А.Я., Кривошлыков С.Ф., Тарасенко А.А. Математические модели процессов локализации простого ландшафтного пожара // Проблемы пожарной безопасности. Вып. 17. – Харьков: Фолио. - 2005. С. 17-25.