

УДК 614. 84

А.Я. Калиновский, адъюнкт, АГЗ Украины

С.Ф. Кривошлыков, адъюнкт, АГЗ Украины

А. А. Тарасенко, к-т техн. наук, ст. преподаватель, АГЗ Украины

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПРОСТОГО ЛАНДШАФТНОГО ПОЖАРА

Предложены аналитические модели маршрутов перемещения сил и средств пожаротушения при локализации простого ландшафтного пожара. Локализация осуществляется одним подразделением в положительном направлении обхода контура пожара

Постановка проблемы. Минимизация ущерба, наносимого ландшафтными пожарами (в особенности лесными), снижение материальных и трудовых затрат, направленных на их локализацию и тушение, требуют применение научно обоснованных рекомендаций, определяющих выбор оптимальных тактических решений. При этом необходимо исходить из имеющихся в наличии сил и средств пожаротушения, их тактико-технических характеристик, ландшафтно-пирологических условий в зоне пожара (геометрических параметров очага, физических характеристик горючего материала, погодных условий и топографии местности).

Анализ публикаций. В работе [1] показана возможность минимизации времени локализации низового лесного пожара на основании оптимального выбора начального местоположения сил пожаротушения при их движении вдоль контура пожара.

В [2] предложена модель траектории движения сил пожаротушения методом «подвижных сеток».

Указанные результаты получены с применением численных методов. В тоже время, используя ряд допущений, возможно создание аналитических моделей маршрутов перемещения сил и средств пожаротушения.

Постановка задачи. Согласно [3] простым пожаром называется пожар, который распространяется в однородных растительно-ландшафтных условиях при постоянной скорости ветра. Наиболее доступным (с описательной точки зрения) является тактический прием, основанный на тушении кромки пожара одним подразделением при его движении в положительном направлении

обхода контура пожара. Таким образом, актуальной является задача создания математических моделей маршрутов перемещения подразделений при локализации ландшафтного пожара.

Модель траектории движения сил пожаротушения. Согласно [3] контур простого ландшафтного пожара представляет собой эллипс, большая полуось которого направлена вдоль скорости ветра. Выберем в этом же направлении и направление полярной оси и контур пожара опишем в полярных координатах [4]. Рассмотрим малый участок контура пожара (рис.1), где линия 1 представляет собой элемент дуги контура пожара в момент времени t , а линия 2 – в момент $t+dt$.

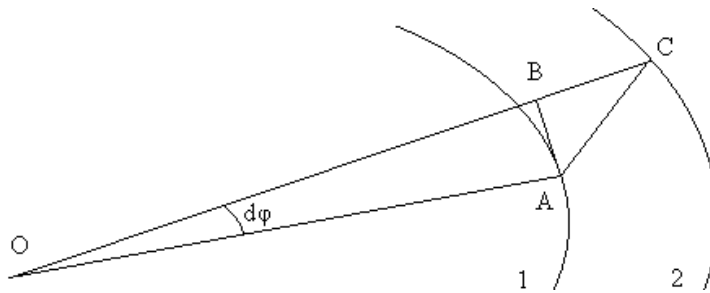


Рис.1. Малый элемент контура пожара

Соответственно, OA – это радиус R контура в момент t , OC – в момент $t+dt$. Распространение пожара осуществляется с постоянной по времени скоростью $V(\varphi)$ [4], тушение – со скоростью $V_T(\varphi, t)$ вдоль отрезка траектории AC . Тогда, согласно рис.1

$$AC = V_T dt, \quad OA = OB = R, \quad BC = dR, \quad AB = R d\varphi, \quad (1)$$

$$AC = \sqrt{AB^2 + BC^2}. \quad (2)$$

Подставляя (1) в (2), получим

$$V_T dt = \sqrt{(R d\varphi)^2 + (dR)^2}. \quad (3)$$

Радиус области пожара [4]

$$R = r_0 + V(t - t_0), \quad t \geq t_0. \quad (4)$$

Полный дифференциал $dR = \frac{\partial R}{\partial t} dt + \frac{\partial R}{\partial \varphi} d\varphi = \frac{\partial R}{\partial t} dt + \frac{\partial R}{\partial \varphi} \frac{d\varphi}{dt} dt$, тогда

$$\begin{aligned}
dR &= \frac{\partial(r_0 + V(t - t_0))}{\partial t} dt + \frac{\partial(r_0 + V(t - t_0))}{\partial \varphi} \frac{d\varphi}{dt} dt = \\
&= V dt + [r'_0 + V'(t - t_0)] \frac{d\varphi}{dt} dt.
\end{aligned} \tag{5}$$

Подставляя (5) в (3), получим

$$\begin{aligned}
V_T^2 &= R^2 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = \\
&= [r_0 + V(t - t_0)]^2 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + \left[V + (r'_0 + V'(t - t_0)) \frac{d\varphi}{dt} \right]^2.
\end{aligned} \tag{6}$$

Разрешая (6) относительно $\frac{d\varphi}{dt}$, получим

$$\begin{aligned}
\frac{d\varphi}{dt} &= \frac{-V(r'_0 + V'(t - t_0))}{[r'_0 + V'(t - t_0)]^2 + [r_0 + V(t - t_0)]^2} \pm \\
&\pm \frac{\sqrt{V_T^2 [r'_0 + V'(t - t_0)]^2 + (V_T^2 - V^2) [r_0 + V(t - t_0)]^2}}{[r'_0 + V'(t - t_0)]^2 + [r_0 + V(t - t_0)]^2}.
\end{aligned} \tag{7}$$

Полагая, что пожар с начала возникновения в момент $t=0$ развивался в тех же условиях, что и в дальнейшем, контур очага на момент начала тушения t_0 будет иметь вид

$$r_0 = V t_0. \tag{8}$$

Подставляя (8) в (7) и, выполняя сокращения, получим

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{-VV' \pm \sqrt{V_T^2 V'^2 + V^2 (V_T^2 - V^2)}}{(V^2 + V'^2)t}. \tag{9}$$

Заметим, что угловая скорость $\frac{d\varphi}{dt} = \omega$, поэтому угловая скорость перемещения сил пожаротушения будет максимальной при $t=t_0$

$$\omega(\varphi, t) = \frac{-V(\varphi)V'(\varphi) \pm \sqrt{V_T^2(\varphi, t)V'^2(\varphi) + V^2(\varphi)(V_T^2(\varphi, t) - V^2(\varphi))}}{(V^2(\varphi) + V'^2(\varphi))t}, \quad t \geq t_0.$$

Сделав дополнительное предположение о постоянстве скорости тушения $V_T = \text{const} \neq f(\varphi, t)$, переменные в (9) можно разделить и? проинтегрировав (9)

$$\int_{t_0}^T \frac{dt}{t} = \int_{\varphi_0}^{\Phi} \frac{V'^2 + V^2}{\pm \sqrt{V_T^2 V'^2 + V^2(V_T^2 - V^2)} - VV'} d\varphi, \quad (10)$$

найти время T локализации дуги пожара $\varphi_0 \Phi$

$$T = t_0 \exp \left(\int_{\varphi_0}^{\Phi} \frac{V'^2 + V^2}{\pm \sqrt{V_T^2 V'^2 + V^2(V_T^2 - V^2)} - VV'} d\varphi \right). \quad (11)$$

Подставляя (11) в (4) и, делая соответствующие переобозначения, получим модель траектории движения сил пожаротушения

$$R(\Phi, \varphi_0, t_0) = r_0(\Phi) + V(\Phi)t_0 \times \left[\exp \left(\int_{\varphi_0}^{\Phi} \frac{V'^2 + V^2(\varphi)}{\sqrt{V_T^2 V'^2(\varphi) + V^2(\varphi)(V_T^2 - V^2(\varphi))} - V(\varphi)V'(\varphi)} d\varphi \right) - 1 \right]. \quad (12)$$

Отметим, что в выражении (12) перед радикалом был выбран знак «+», поскольку противоположный выбор приводит к нефизичному результату.

При искусственном допущении о локализации пожара в случае полного обхода ($\Phi = \varphi_0 \div 2\pi + \varphi_0$) контура пожара, на основании выражения (12) получены примеры маршрутов перемещения сил и средств пожаротушения (рис.2).

Выводы. При помощи ряда допущений получена аналитическая модель маршрута перемещения пожарного подразделения при локализации простого ландшафтного пожара. Данная модель позволяет получить некоторые оптимальные параметры тактических решений по ликвидации пожара.

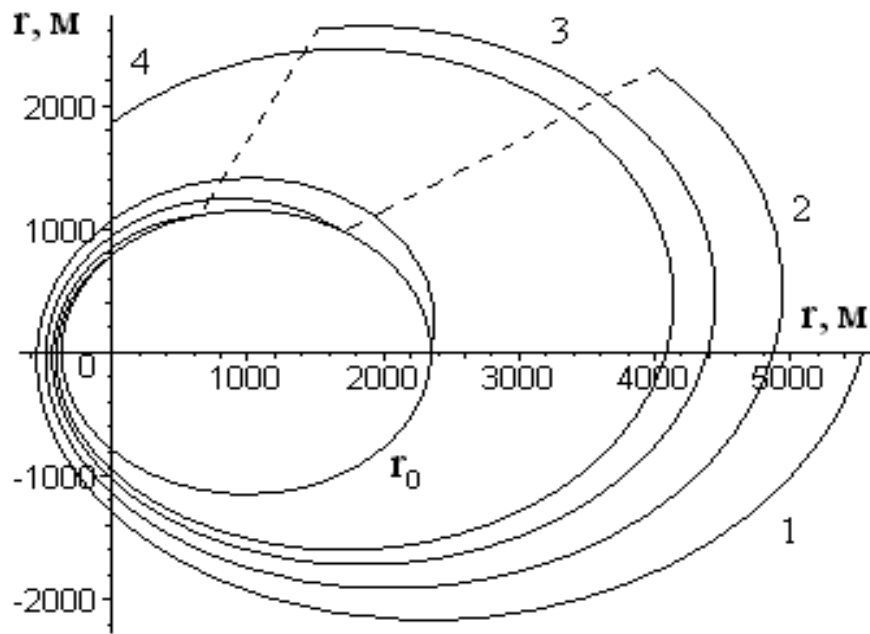


Рис. 2. Траектория движения при начальном местоположении сил пожаротушения: 1- $\varphi_0 = 0$; 2- $\varphi_0 = \pi/6$; 3- $\varphi_0 = \pi/3$; 4 - $\varphi_0 = \pi/2$

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. 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.
3. Валендик Э.Н. Условия возникновения и распространения крупных пожаров в лесах Сибири // Лесоведение, №6. – 1991.-С. 84-87.
4. 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.

Авторы выражают благодарность профессору Сознику А.П. за плодотворное обсуждение представленного материала