

УДК 614.84

Т.Н. Обиженко¹, А.А.Тарасенко²¹Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков²Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЛАНДШАФТНОГО ПОЖАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

В статье осуществлен обзор последних моделей линии прокладки противопожарного барьера при локализации (тушении) ландшафтного (природного) пожара с помощью технических средств. Динамическая область пожара ограничивается линией – контуром пожара, допускающим явное представление в полярных координатах либо параметрическое задание в случае сложного невыпуклого контура. Рассмотрены случаи активной локализации (тушения) при движении сил пожаротушения вдоль контура пожара и пассивной локализации, когда граница область пожара заменяется ее выпуклой оболочкой.

Ключевые слова: локализация, ландшафтный пожар, пожарный самолет, противопожарный барьер.

Введение

Постановка проблемы. Главной составляющей частью процесса тушения пожара является ограничение его распространения по территории, т.е. локализация [1]. Воздействие на область пожара техническими средствами пожаротушения приводит к существенному изменению формы этой области в сравнении со свободным распространением. Поэтому процесс локализации можно рассматривать как управляемое воздействие на пожар и в зависимости от параметров данного воздействия получать желаемые параметры области пожара – форму, площадь и периметр. Таким образом, основываясь на моделях свободного распространения пожара, необходимо строить модели локализации. Отличительной особенностью технических средств пожаротушения от сил пожаротушения является независимость производительности первых от времени. В этом случае скорость прокладки локализационной полосы может полагаться постоянной.

Анализ последних исследований и публикаций. Моделированию процесса локализации посвящено значительно меньшее количество работ, нежели вопросам распространения пожара.

Обзор многочисленных моделей локализации ландшафтных пожаров осуществлен в работе [2]. С тех пор появился еще ряд новых моделей, которые недостаточно освещены в литературе.

Цель статьи. Целью является проведение обзора последних работ в области моделирования процесса локализации ландшафтных пожаров с привлечением технических средств.

Основной материал исследования

В лесной пирологии [1] различается активная локализация (тушение кромки пожара) и пассивная локализация – окружение области пожара противо-

пожарным барьером. Автор работ [2] определяет локализацию как окружение пожара непроходимым для огня препятствием. В данных работах рассматривается движение рабочего механизма, прокладывающего заградительную полосу со скоростью $V_T(\chi)$, где χ – направление движения. Рассмотрены решения типовых задач: односторонний охват области пожара; двусторонний охват, когда движение начинается из одной точки в двух разных направлениях и продолжается до пересечения локализационных кривых различной ориентации. Решены задачи оптимизации процесса локализации. В качестве критерия оптимизации выступают: наименьшее число локализационных кривых; наименьшее время полной локализации; наименьшая площадь пожара. Данное описание справедливо лишь для пассивных методов локализации и не распространяется на активные, воздействующие непосредственно на кромку огня.

Использование активных методов локализации рассматривается в работе [3]. Односторонняя локализация начинается из выбранной точки φ_0 вблизи контура пожара, имеющего форму эллипса, задаваемого аналитически в полярной системе координат. Искомым параметром при этом является время T локализации пожара

$$T = t_0 \left(\exp \left[\int_{\varphi_0}^{\varphi_0 + 2\pi} d\varphi / \sqrt{\left(\frac{V_T(\varphi)}{V(\varphi)} \right) - 1} \right] - 1 \right), \quad (1)$$

где $V_T(\varphi)$ – годограф скорости локализации используемого средства тушения; $V(\varphi)$ – годограф скорости распространения пожара; t_0 – время с момента возникновения пожара до начала локализации.

Модель допускает численное нахождение величины T при учете изрезанности кромки пожара. Влияние изрезанности кромки приводит к зависимости времени T от выбора точки начала локализации φ_0 , что позволяет минимизировать время локализации. К не-

достаткам данной модели следует отнести то, что не получены маршруты движения сил пожаротушения; контур очага пожара идеализирован; локализация осуществляется только одним подразделением и только в одном направлении; введено искусственное допущение о локализации пожара при обходе контура пожара $(\varphi_0; \varphi_0 + 2\pi)$.

В [4] приведено дифференциальное уравнение

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

позволяющее описать линию движения сил пожаротушения при активной локализации области пожара, контур r_0 которой задан в полярной системе координат (φ – полярный угол, $r_0 = r_0(\varphi)$, $V = V(\varphi)$, $V_T = \text{const}$). Задавая постоянное приращение по времени, из разностного аналога (2) находится приращение по углу, что и позволяет получить линию движения средства пожаротушения. Иллюстрация результата использования данной модели продемонстрирована на рис. 1. На рис. 1 продемонстрирована тактика двустороннего окружения; показаны кроки свободноразвивающегося пожара, очаг пожара в момент начала тушения и локализованная область.

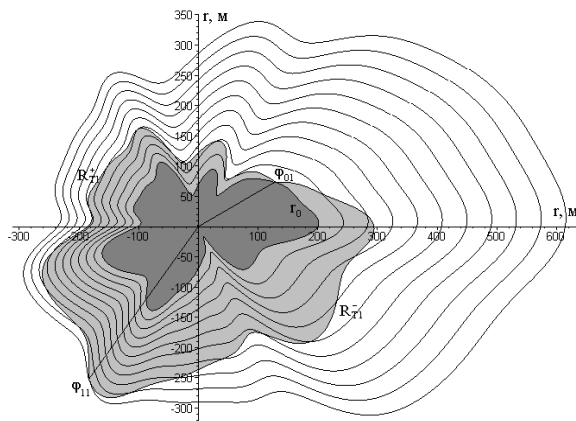


Рис. 1. Пример использования модели (2)

Недостатком модели (2) является полярный способ задания динамического контура пожара, что предполагает выпуклость последнего относительно полярного радиуса и необходимость привязки контура к полюсу, что для контура реального пожара является достаточно сильным модельным допущением.

В работе [5] для произвольного невыпуклого (но односвязного) динамического контура пожара, заданного параметрически в виде

$$L(m, T) = \begin{cases} X(m; T); \\ Y(m; T), \end{cases} \quad (3)$$

где m – параметр – номер вершины ломанной, опи-

сывающей контур, получен маршрут движения подразделений при тушении кромки наземного ландшафтного пожара (он же – линия локализации)

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \left(\pm \left[\left(\frac{\partial X(m; t)}{\partial t} \frac{\partial X(m; t)}{\partial m} + \frac{\partial Y(m; t)}{\partial t} \frac{\partial Y(m; t)}{\partial m} \right)^2 + \left(\left(\frac{\partial X(m; t)}{\partial m} \right)^2 + \left(\frac{\partial Y(m; t)}{\partial m} \right)^2 \right) \times \left(V_T^2 (X(m; t), Y(m; t), t) - V^2 (X(m; t), Y(m; t)) \right) \right]^{1/2} - \left(\frac{\partial X(m; t)}{\partial t} \frac{\partial X(m; t)}{\partial m} + \frac{\partial Y(m; t)}{\partial t} \frac{\partial Y(m; t)}{\partial m} \right) \right) \times \left(\left(\frac{\partial X(m; t)}{\partial m} \right)^2 + \left(\frac{\partial Y(m; t)}{\partial m} \right)^2 \right)^{-1}, \quad (4)$$

где знак перед корнем определяет положительное либо отрицательное направления обхода контура пожара силами пожаротушения.

Аналогично предыдущей модели, задавая шаг по времени, из разностного аналога (4) находится местоположение средства пожаротушения, что и позволяет найти траекторию его движения.

Данная модель является ГИС-ориентированной, т.е. позволяет учесть пространственные зависимости параметров. Поскольку сложность описаний параметров ландшафта, контура пожара и годовых скорости распространения и тушения пожара исключают в общем случае аналитическое построение маршрута движения средства пожаротушения, то данный маршрут предложено строить, используя разностную схему. При этом существует возможность также учесть зависимость скорости тушения от параметров ландшафта и очага пожара. Данная модель лишена недостатков предыдущих, но предназначена в первую очередь для описания процесса тушения пожара (при этом локализация может быть рассмотрена как частный случай тушения). Также параметрическое описание контура позволяет осуществление вычислений лишь в численном виде.

Пример иллюстрации результатов использования модели (4) приведен на рис. 2.

В работе [6] предложена модель пассивной локализации области пожара, поскольку осуществляется окружение не самой области пожара, а ее динамической выпуклой оболочки $\bar{\Omega}$, также заданной в полярной системе координат. При этом в качестве полюса выбран центроид $\bar{\Omega}$ в момент времени t_0 . При этом авторам [6] удалось решить уравнение динамики средства пожаротушения (пожарного самолета Ан-32П) численно, разрешив его относительно временной переменной. Полученное приращение по времени (5) определяется задаваемым постоянным азимутальным смещением, что и позволяет найти линию сброса огнетушащего вещества

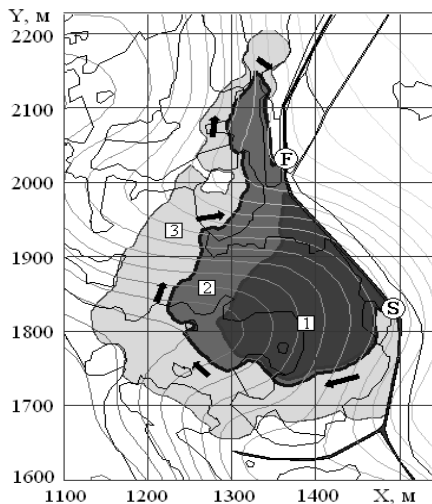


Рис. 2. Пример использования модели (4):
1 – очаг пожара; 2 – локализованная площадь;
3 – свободно распространяющийся пожар

$$\Delta T(\varphi, t, \Delta\varphi) = \frac{1}{2} \left[\left(V + \frac{\partial V}{\partial \varphi} \Delta\varphi \right)^2 - V_{loc}^2 \right]^{-1} \times \left[-\Delta\varphi \left(V + \frac{\partial V}{\partial \varphi} \Delta\varphi \right) \left(2 \frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial \varphi} + \bar{\Omega} \Delta\varphi \right) \pm \left(\Delta\varphi \right)^2 \left(V + \frac{\partial V}{\partial \varphi} \Delta\varphi \right)^2 \left(2 \frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial \varphi} + \bar{\Omega} \Delta\varphi \right)^2 - \right. \quad (5)$$

$$\left. - 4 \left[\left(V + \frac{\partial V}{\partial \varphi} \Delta\varphi \right)^2 - V_{loc}^2 \right] (\Delta\varphi)^2 \times \left[\left(\frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial \varphi} \right)^2 + \bar{\Omega}^2 + \Delta\varphi \frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial \varphi} \bar{\Omega} \right] \right]^{1/2}$$

Данная модель, в силу полярного задания локализуемой области, менее требовательна к вычислительным ресурсам, нежели модель (4). На рис. 3 приведен пример реализации модели (5).

Выводы

Проведенный обзор последних моделей локализации области ландшафтного пожара продемон-

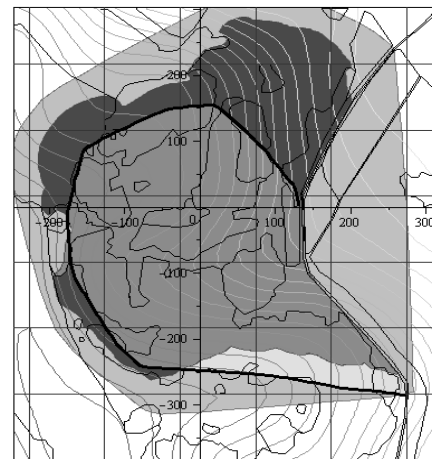


Рис. 3. Пример реализации модели (5)

стрировал различия в степени модельных допущений. Модели (4) и (5) являются ГИС-ориентированными и могут быть использованы непосредственно при ликвидации ландшафтного пожара.

Список литературы

1. Курбатский Н.П. Техника и тактика тушения лесных пожаров / Н.П. Курбатский. – М.: Гослесбуиздат, 1962. – 154 с.
2. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров / Г.А. Доррер. – М.: Лесн. пром., 1979. – 161 с.
3. Тарасенко О.А. Вплив просторових флуктуацій пірологічних параметрів середовища на інтегральні характеристики лісової пожежі і умови її гасіння: Автореф. дис.... канд. техн. наук / Тарасенко О.А. – Х.: УЦЗУ, 2004. – 20 с.
4. Кривошильников С.Ф. Оптимізація розміщення сил і засобів при локалізації ландшафтної пожежі: Автореф. дис.... канд. техн. наук / Кривошильников С.Ф. – Х.: УЦЗУ, 2009. – 20 с.
5. Абрамов Ю.А. Моделирование пожаров, их обнаружения, локализации и тушения / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, А.А. Тарасенко. – Х.: НУГЗУ, 2011. – 927 с.
6. Мелещенко Р.Г. Модель локализации природного пожара с помощью авиационной техники / Р.Г. Мелещенко, В.К. Мунтян // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ, 2013. – Вып. 34. – С. 126-136.

Поступила в редколлегию 3.04.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Ковалишин, Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, Львов.

МОДЕЛЮВАННЯ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ЛАНДШАФТНОЇ ПОЖЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

Т.М. Обіженко, О.А. Тарасенко

У статті здійснено огляд останніх моделей лінії прокладки протипожежного бар'єру при локалізації (гасінні) ландшафтної (природної) пожежі за допомогою технічних засобів. Динамічна область пожежі обмежується лінією - контуром пожежі, що допускає явне подання у полярних координатах або параметричне завдання у разі складного неопуклого контуру. Розглянуто випадки активної локалізації (гасіння) при русі сил пожежогасіння уздовж контуру пожежі та пасивної локалізації, коли границя області пожежі замінюється її опуклою оболонкою.

Ключові слова: локалізація, ландшафтна пожежа, пожежний літак, протипожежний бар'єр.

SIMULATION OF LANDSCAPE FIRE LOCALIZATION BY USING TECHNICAL EQUIPMENT

T.N. Obizhenko, A.A. Tarasenko

An overview of the latest models of the lay line of fire barriers for localization or extinguishing landscape fire (wildfire) by technical means is presented in the article. Dynamic area is limited by line of fire. The fire circuit admits a representation in polar coordinates or parametric form for a complex non-convex contour. It was considered the situations of active localization or extinguishing when forces are driving along the contour of the fire extinguishing and passive localization, when the border area fire replaced its convex hull.

Keywords: localization, landscape fire, firefighter aircraft, fire barrier.