



МОДЕЛЮВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРУ

УДК 614. 84

*Кривошлыков С.Ф., ад'юнкт,
Абрамов Ю.А., д-р техн. наук, гл. науч. сотр.,
Тарасенко А.А., канд. техн. наук, ст. преп.*

Академия гражданской защиты Украины

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТАКТИКИ ТУШЕНИЯ ПРОСТОГО ЛАНДШАФТНОГО ПОЖАРА

Сформулирована задача оптимизации параметров тактики тушения простого ландшафтного пожара. Критерий оптимизации - минимизация времени локализации. Параметрами модели является время прибытия к месту пожара подразделений, количество сил и тактико-технические характеристики средств тушения. Предложен оптимизационный алгоритм

Постановка проблемы. Успешная борьба с ландшафтным пожаром предполагает эффективную (как можно более малыми силами и средствами) и быструю (в кратчайший срок) его локализацию и тушение. Данные требования приводят к необходимости решения задачи об оптимальном сценарии борьбы с пожаром. Такое решение позволит избежать субъективизма в выборе тактических параметров со стороны руководителя тушения пожара.

Анализ последних исследований и публикаций. Несмотря на то, что существуют и продолжают появляться новые модели развития ландшафтных пожаров, моделей их тушения гораздо меньше – отметим лишь [1]. При этом практически полностью отсутствуют модели оптимизации параметров тактики тушения ландшафтных пожаров. Возможность минимизации времени локализации низового лесного пожара на основании оптимального выбора начального местоположения сил пожаротушения при их движении вдоль контура пожара показана в [2]. При этом локализация осуществляется одним подразделением.

Постановка задачи и ее решение. Под ландшафтными пожарами будем подразумевать пожары степные, лесные и пожары на сельхозугодиях. Простым ландшафтным пожаром называется [3] пожар, который распространяется в однородных растительно-ландшафтных условиях при по-

стоянної шкорути ветру. Форма такого пожара (для лесного пожара ограничуваема лише случаем низового), согласно [3], близка к еллипсу. Модель контура такого пожара рассматривалась в [4]. Модель маршрутов движения сил и средств пожаротушения при ликвидации ландшафтного пожара получена нами в [5], примеры маршрутов показаны на рис. 1-4. В результате активного воздействия на пожар форма пожарища будет тем сложней, чем больше подразделений участвовало в тушении. Площадь, периметр и форма пожарища будет определяться как природными (скоростью распространения $V_p(\varphi)$) так и антропогенными (связанными с процессом тушения) факторами. Последние включают в себя количество привлекаемых к тушению подразделений (в данном примере четыре), тактико-технические характеристики средств тушения (в первую очередь это линейная скорость тушения V_T), время и координаты точки начала тушения каждого из подразделений. Выбор того или иного имеющегося в наличии технического средства, начальное местоположение и направление движения сил вдоль кромки пожара являются прерогативой руководителя тушения пожара. Принятие тактических решений в этом случае осуществляется субъективно, исходя из его личного опыта. Различные сценарии проведения оперативных мероприятий будут обладать и различной эффективностью, что видно из приведенных рисунков. В связи с этим возникает необходимость выбора оптимальной тактики тушения.

Рассмотрим задачу в следующей постановке: локализация пожара состоит в тушении кромки пожара силами пожаротушения при их движении вдоль контура пожара. Локализация осуществляется четным числом подразделений (звеньев). Каждая i -ая пара (в данном примере $i=1 \div 2$) подразделений начинает локализацию в момент времени t_i из точки с координатами $(R_i; \varphi_i)$, принадлежащей контуру пожара, задаваемого в полярных координатах в виде $R(\varphi)$ [4]. При этом звенья каждой пары двигаются в противоположных направлениях вдоль кривых $R_{Tij}(\varphi)$, уравнения которых найдены в [5]. Локализация считается завершенной, когда происходит пересечение траекторий движения звеньев разных пар. Поскольку время начала тушения для каждой из пар звеньев в общем случае различное, то и время участия в тушении T_{ij} для каждого ij -ого подразделения будет различаться (i – номер пары; j – номер звена в i -ой паре, $j=1 \div 2$). Время локализации на каждом из участков будет определяться соответствующими выражениями (для случая двух пар)

$$t_1 + T_{12} = t_2 + T_{22}; \quad t_1 + T_{11} = t_2 + T_{21}, \quad (1)$$

а время полной локализации T , с учетом (1), найдем из условия

$$T = \max\{t_1 + T_{12}; t_1 + T_{11}\}. \quad (2)$$

Используем следующий ряд допущений. Будем полагать, что каждое из звеньев может быть задействовано в тушении неограниченное время (т.е. работоспособность звена не зависит от времени предыдущей работы). Кроме того, полагаем, что скорость тушения V_T одинакова для всех звеньев и не зависит и от угла φ , т.е. одинакова для разных тактических частей кромки пожара. Очевидно, что в этом случае следует избегать простоя подразделений, который может иметь место при завершении локализации с одной из сторон пожара (к примеру, - с тыла на рис.1) при продолжении его развития с другой стороны (фронтально-правофланговая часть на том же рисунке). Таким образом, приходим к необходимости считать борьбу с пожаром эффективной, если все подразделения закончат работу по локализации одновременно в один и тот же момент времени T . В этом случае для тушения четырьмя звеньями, кроме условия (1), должно выполняться условие

$$T_{12} = T_{11}; T_{21} = T_{22}. \quad (3)$$

Тогда время локализации пожара T будет равно

$$T = t_1 + T_{12} = t_2 + T_{22} = t_1 + T_{11} = t_2 + T_{21}. \quad (4)$$

Очевидно, что $T = T(\varphi_1; \varphi_2; t_1; t_2; V_P; V_T)$. При этом влиять на величину V_P невозможно; величина V_T в данной постановке также является параметром; время начала тушения каждой из пар подразделений t_1 и t_2 лимитируется временем прибытия и боевого развертывания и должно быть как можно меньшими. Поэтому реальными управляемыми руководителем тушения параметрами остаются лишь начальные местоположения каждой из пар подразделений вблизи контура пожара, задаваемые азимутальными углами φ_1 и φ_2 . Таким образом, для данных допущений, именно расстановка сил пожаротушения будет определять степень эффективности борьбы с ландшафтным пожаром.

В то же время возможность выбора двух параметров φ_1 и φ_2 приводит к неоднозначности решения задачи (4). Тривиальный пример такой неоднозначности продемонстрирован на рис. 3-4.

Поэтому следует найти такой сценарий тушения кромки, который привел бы не к одновременному окончанию тушения, а к нахождению минимально возможного времени локализации. Т.е. требуется решить оптимизационную задачу - необходимо найти такие значения φ_1 и φ_2 (при фиксированных значениях других параметров), чтобы время локализации было минимально.

Кроме того, данную задачу можно сузить, если наложить дополнительное условие на выбор φ_1 . Сделать это можно из следующих соображе-

ний. Выбирать начальное местоположение первой пары звеньев так, чтобы: а) либо действовать в предположении, что подкрепление не прибудет и необходимо минимизировать время тушения одной парой подразделений; б) либо сразу пресечь распространение кромки пожара в наиболее опасном направлении, например, в сторону объекта, представляющего наибольшую материальную ценность. Осуществив такой выбор, руководителю тушения остается лишь выбрать значение φ_2 .

Время T_{ij} движения ij -ого подразделения вдоль маршрута следования, в условиях приведенных допущений, найдем как

$$T_{ij} = L_{ij} / V_T, \quad (5)$$

где L_{ij} – длина локализационной кривой, величина которой в полярной системе координат будет определяться как

$$L_{ij} = \int_{\varphi_i}^{\varphi_j} \sqrt{R_{Tij}^2 + \left(\frac{dR_{Tij}}{d\varphi} \right)^2}, \quad (6)$$

где φ_j – координата пересечения двух маршрутов (см. рис.)

Поскольку точки пересечения φ_j траекторий движения сил пожаротушения принадлежат одновременно обеим кривым, то

$$R_{Tnj}(\varphi_{i=n}; t_n; \varphi_j) = R_{Tmj}(\varphi_{i=m}; t_m; \varphi_j), \quad (n \neq m, j=1 \div 2). \quad (7)$$

Данные уравнения позволяют найти φ_j для каждой пары кривых.

Таким образом, решая задачу (4) – (7) можно отыскать φ_1 и φ_2 при условии, что $T \rightarrow \min$.

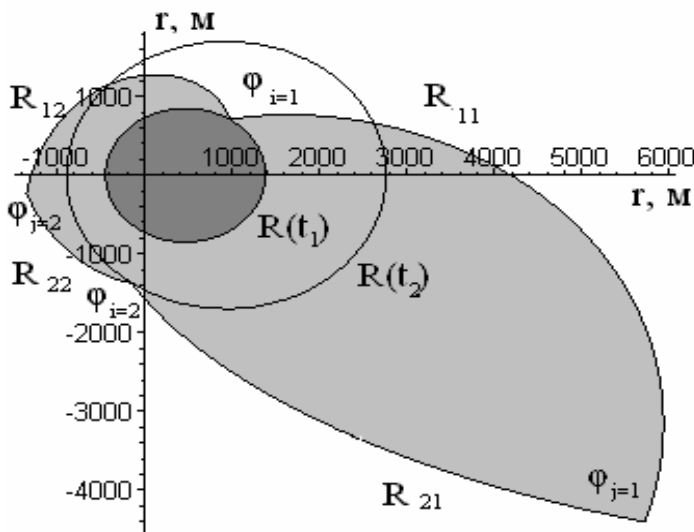


Рис. 1 – Локализация двумя парами команд. Скорость тушения кромки одинакова

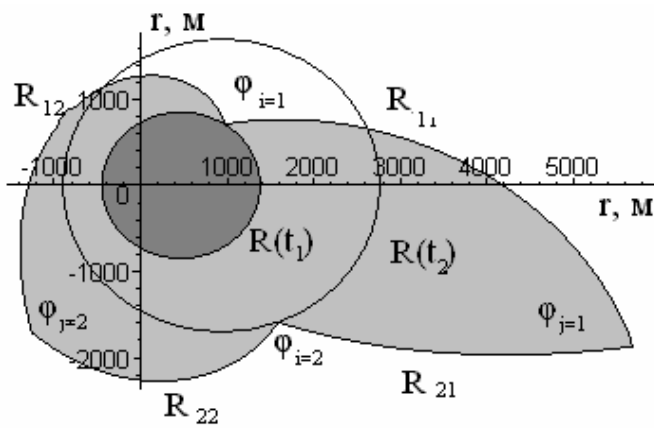


Рис 2 – Скорость тушения кромки одинакова, координаты начала тушения второй парой подразделений иные, нежели на рис. 1

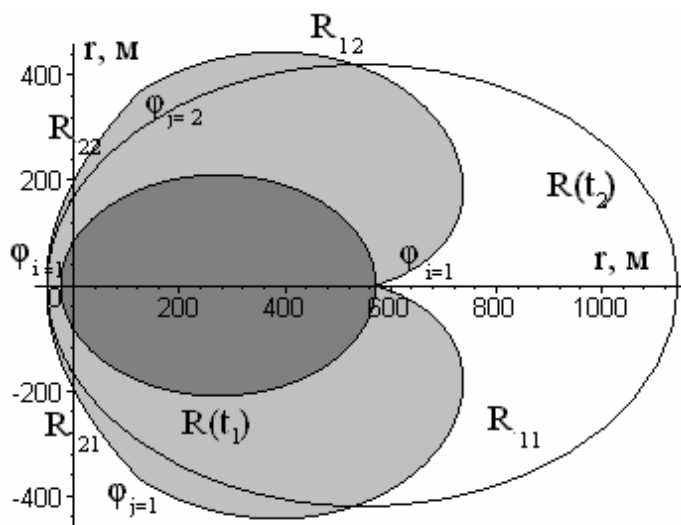


Рис 3 – Сценарий локализации, основанный на первоочередном тушении фронта. Вторая пара подразделений начинает тушить из тыла

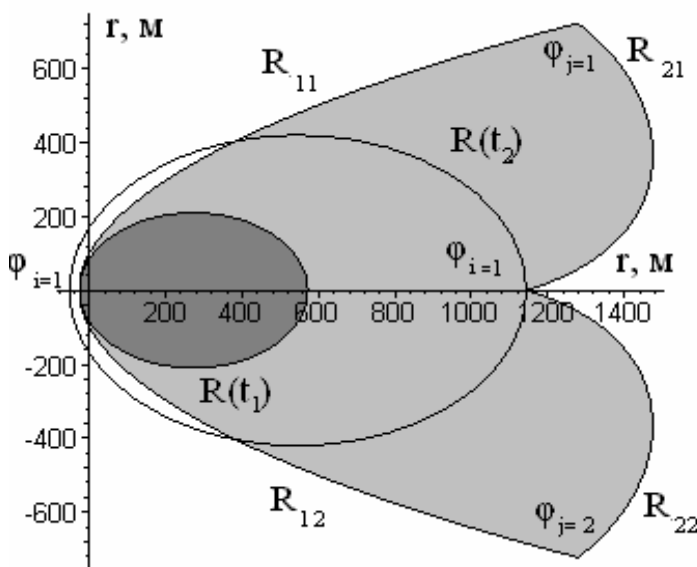


Рис. 4 – Сценарий локализации, основанный на первоочередном тушении тыла. Вторая пара подразделений начинает тушить с фронта. Скорости локализации для всех подразделений на рис. 3 и 4 одинакова

Выводы. Используя ряд допущений, нами сформулирована задача оптимизации параметров тушения простого ландшафтного пожара и получен алгоритм ее решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. 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.
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.
5. Абрамов Ю.О., Кривошликов С.Ф., Тарасенко О.А. Модельовання маршрутів руху сил та засобів пожежегасіння при локалізації низової лісової пожежі // Пожежна безпека. №6. - Львів: ЛПБ. – 2005. С.19-21.

