

С.Ф. Кривошлыков, адъюнкт, АГЗ Украины

Ю.А. Абрамов, д-р техн. наук, профессор, АГЗ Украины

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТАКТИКИ ТУШЕНИЯ ПРОСТОГО ЛАНДШАФТНОГО ПОЖАРА ДЛЯ СЛУЧАЯ НЕГАРАНТИРОВАННОГО ПРИБЫТИЯ ПОДКРЕПЛЕНИЙ

Решены задачи оптимизации параметров тактики тушения простого ландшафтного пожара в случае негарантированного прибытия подкреплений. Критерий оптимизации - минимизация времени локализации.

Постановка проблемы. Борьба с ландшафтными пожарами может осуществляться в условиях гарантированного прибытия подразделений к месту тушения, когда заранее известно количество сил и средств, а также ориентировочное время прибытия и боевого развертывания подразделений. Зачастую же не представляется возможным обеспечить процесс тушения необходимыми ресурсами, и приходится изыскивать резервы и привлекать подкрепления уже на стадии развитого пожара. Повысить эффективность пожаротушения можно, решив оптимизационную задачу, - минимизировав время локализации.

Анализ публикаций. Ранее [1] было отмечено почти полное отсутствие моделей 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. Настоящая работа продолжает собой цикл [1,3], посвященный оптимизации параметров локализации ландшафтных пожаров в условиях негарантированного прибытия подкреплений.

Постановка задачи. Для сценария локализации, основанного на негарантированном прибытии подкреплений, целесообразно начинать борьбу с огнем, исходя из количества сил и средств пожаротушения, имеющихся в распоряжении руководителя тушения в данный момент времени. Оптимизация начального местоположения сил пожаротушения должна осуществляться последовательно.

Для простого ландшафтного пожара условия постоянной и одинаковой для всех звеньев линейной скорости локализации пожара

и требование о недопустимости простоя позволяют решать задачи оптимизации лишь путем решения (численного) соответствующих трансцендентных уравнений, а также решая минимаксную задачу.

Оптимизация параметров тактики тушения. Поскольку прибытие подразделений не может, в общем случае, быть синхронным, то логично предположить, что к очагу пожара первым пребудет одно подразделение. Отметим, что здесь и в дальнейшем предполагается возможность разделения прибывшего подразделения на две равные, автономно действующие половины, которые будем называть парой звеньев.

Соответственно, первое прибывшее подразделение необходимо расположить таким образом, чтобы обеспечить минимальное время локализации пожара силами лишь этой пары звеньев.

Для условий низко- и среднеинтенсивного низового лесного пожара и пожара на сельхозугодьях допустимой тактикой является:

1) тушение кромки с фронта пожара, с последующим охватом по флангам и замыканием в тылу; 2) охват с тыла и сведение области пожара „на клин” [3]. При выработке оптимального решения о начальном размещении сил пожаротушения на контуре пожара использовались следующие доводы. Поскольку локализация начинается осуществляться первым и вторым звеном первого подразделения одновременно в момент t_1 с одинаковой скоростью, и длится до момента встречи звеньев, то время локализации T_1 и T_2 обоими звеньями будут равны. Таким образом, необходимо минимизировать $T_1 = T_2 \rightarrow \min$. В работе [1] показано, что тушение с фронта обеспечивает решение этой задачи (рис. 1).

Такой пожар будет характеризоваться следующими параметрами (верхний индекс указывает на количество половин подразделений, участвующих в локализации):

Время развития пожара (с момента возникновения до момента полной локализации)

$$T_R^{(2)} = t_1 + T_1 = t_1 + T_2. \quad (1)$$

Время полной локализации пожара подразделениями

$$T_L^{(2)} = T_1 = T_2. \quad (2)$$

Отметим, что при движении из фронта обеспечивается $\min (T_L^{(2)})$.

Суммарные временные затраты

$$T_{\Sigma}^{(2)} = T_1 + T_2 = 2 T_1. \quad (3)$$

В случае прибытия подкрепления (в момент t_2), и при условии, что пожар еще не локализован, т.е.

$$t_2 < t_1 + T_1, \quad (4)$$

вновь прибывшее подразделение следует разместить так, чтобы его половины обеспечили наискорейшую локализацию с учетом пути, уже пройденного первой парой звеньев, т.е.

$$\begin{cases} t_1 + T'_1 = t_2 + T_4 \\ t_1 + T'_2 = t_2 + T_3 \end{cases}, \quad (5)$$

где T'_1, T'_2, T_3, T_4 - время локализации 1, 2, 3, 4 половинами подразделений (см. рис. 2).

Вычитая из первого уравнения второе, получим

$$T'_1 - T'_2 = T_4 - T_3. \quad (6)$$

При этом, очевидно, необходимо исключить простой звеньев, т.е. потребовать, чтобы

$$\begin{cases} T'_1 = T'_2 \\ T_3 = T_4 \end{cases}. \quad (7)$$

Таким образом, решение оптимизационной задачи (4)-(7) приводит к симметричному размещению второй пары - в тылу пожара.

Для оптимального случая:

Время развития пожара

$$T_R^{(4)} = t_1 + T'_1 = t_1 + T'_2 = t_2 + T_3 = t_2 + T_4. \quad (8)$$

Время полной локализации пожара подразделениями

$$T_L^{(4)} = \max \{T'_1; T'_2; T_3; T_4\} = T'_1 = T'_2. \quad (9)$$

Отметим, что решение задачи оптимизации в данном случае – это решение минимаксной задачи $\min(\max \{T'_1; T'_2; T_3; T_4\})$.

Суммарные временные затраты

$$T_{\Sigma}^{(4)} = T_1' + T_2' + T_3 + T_4 \quad (10)$$

В случае прибытия последующих подразделений симметрия задачи нарушается.

В частности, если третье подразделение (5 и 6 звено) прибыло к месту пожара в момент времени t_3 , есть две равноценные (симметричные относительно полярной оси) возможности разместить это подразделение, с целью минимизации времени локализации. Для определенности нами выбран вариант, представленный на рис. 3.

В этом случае, кроме ограничения (4) должно выполняться

$$t_3 < t_1 + T_1'. \quad (11)$$

Кроме того, необходимо выполнение следующих соотношений

$$\begin{cases} t_1 + T_1'' = t_3 + T_6 \\ t_2 + T_4' = t_3 + T_5, \\ t_1 + T_2' = t_2 + T_3 \end{cases} \quad (12)$$

где $T_1'', T_2', T_3, T_4', T_5, T_6$ - время локализации соответствующими звеньями (рис. 3).

Оптимальное начальное местонахождение третьего подразделения можно найти, добиваясь отсутствия простоя звеньев

$$t_3 + T_6 = t_3 + T_5, \quad (13)$$

т.е. решением уравнения

$$T_6 = T_5. \quad (14)$$

Для оптимального случая:

Время развития пожара

$$\begin{aligned} T_R^{(6)} &= \max \{t_1 + T_1'', t_1 + T_2', t_2 + T_3, t_2 + T_4', t_3 + T_5, t_3 + T_6\} = \\ &= t_1 + T_2' = t_2 + T_3. \end{aligned} \quad (15)$$

Время полной локализации пожара подразделениями

$$T_L^{(6)} = \max \{T_1''; T_2'; T_3; T_4'; T_5; T_6\} = T_2'. \quad (16)$$

Отметим, что $T_L^{(6)} = T_L^{(4)}$.

Оптимизация на данном этапе достигается минимизацией $\max \{T_1''; T_4'; T_5; T_6\}$.

Суммарные временные затраты

$$T_\Sigma^{(6)} = T_1'' + T_2' + T_3 + T_4' + T_5 + T_6. \quad (17)$$

Аналогично можно решать задачу последовательной оптимизации и в случае прибытия других подкреплений. Иллюстрация примера для четырех подразделений (восьми звеньев) показана на рис.4.

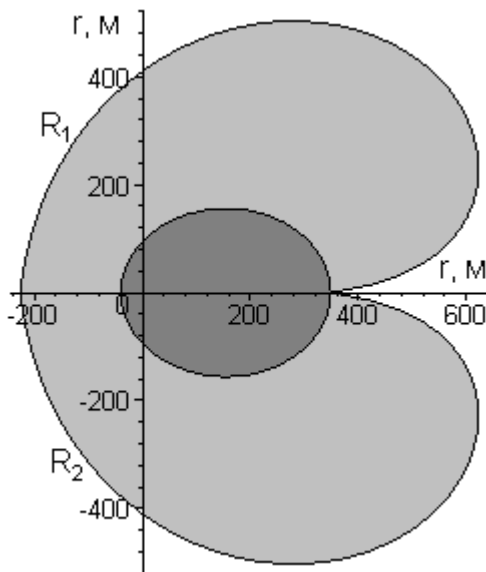


Рис. 1. Оптимальный вариант локализации двумя звеньями

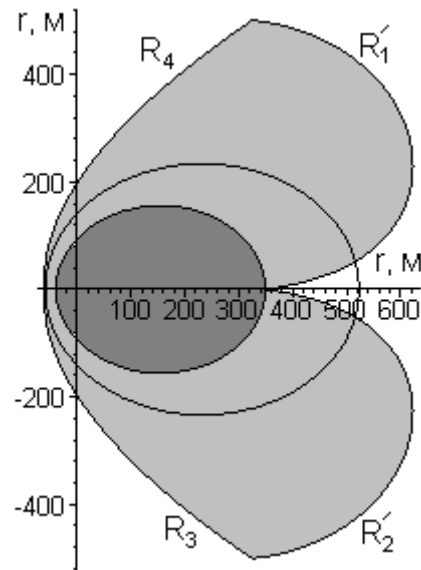


Рис. 2. Оптимальный вариант локализации четырьмя звеньями

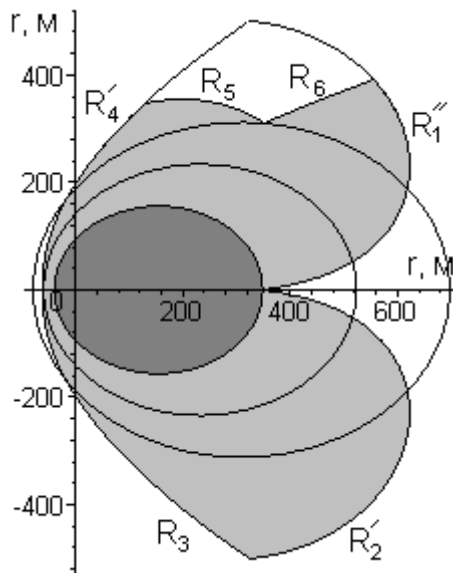


Рис. 3. Оптимальный вариант локализации шестью звеньями

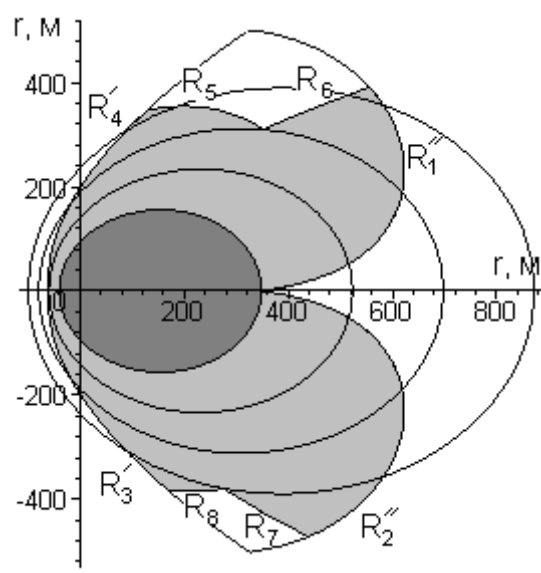


Рис. 4. Оптимальный вариант локализации восьмью звеньями

Вывод. Получено решение задач оптимизации тактики тушения простого ландшафтного пожара в условиях негарантированного прибытия подкреплений по критерию минимума времени локализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривошлыков С.Ф., Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А. Алгоритм оптимизации параметров тактики тушения простого ландшафтного пожара // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. АЦЗ України. Вип.. 3. - Харків: Фоліо. – 2006. С.58-62.
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. Абрамов Ю.О., Кривошликов С.Ф., Тарасенко О.А. Моделювання маршрутів руху сил та засобів пожежегасіння при локалізації низової лісової пожежі // Пожежна безпека. №6. - Львів: ЛПБ. – 2005. С.19-21.
4. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров. М.: ЦБ НТИлесхоза. – 1976. – 110 с.