

*Тарасенко А.А., канд. техн. наук, ст. науч. сотр., УГЗУ*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПРИРОДНЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

На основании моделей динамики области природной чрезвычайной ситуации (наземного ландшафтного пожара) под воздействием подразделений МЧС ранее предложена процедура отыскания оптимальных параметров тактики борьбы. В настоящей работе оценивается эффективность предлагаемых управленческих решений путем сравнения совокупного ущерба от ЧС, получаемого на их основании, с аналогичным показателем, получаемым на основании управленческих решений, предлагаемых экспертами.

**Ключевые слова:** природная чрезвычайная ситуация, эффективность, оптимальная тактика, борьба с пожарами, ландшафтные пожары

**Постановка проблемы.** Для части природных чрезвычайных ситуаций присущ динамический характер области. Примером таких ЧС является ландшафтный пожар. Разнообразие ландшафтно-метеорологических условий, влияющих на динамику области, скорость и интенсивность тепловыделения кромки приводит к широчайшему спектру возможных сценариев развития ландшафтного пожара. Поэтому до сих пор решающим фактором успешной борьбы с пожаром являлась профессиональная подготовка, опыт и интуиция РТП, принимающего такие тактические решения, которые с его точки зрения обеспечивают наиболее эффективное тушение. Таким образом, процедура принятия управленческих решений в большой мере носит субъективный характер, в связи с чем эффективность принимаемых РТП решений может также оказаться невысокой. Для таких случаев целесообразно минимизировать влияние человеческого фактора, автоматизировав процедуру принятия части управленческих решений, а именно – нахождения оптимальных параметров тактики локализации ландшафтного пожара.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Варианты оптимального начального размещения сил и средств пожа-

ротушення при тушенні наземного ландшафтного пожеара, розвиваючогося в однородних ландшафтно-метеоро-логічних умовах, пропонується в [3]. Данна модель прийлема для узкого класу пожеаров и не учитыває изменение интенсивности тепловыделения и скорости кромки пожеара при движении его контура. В тоже время, скорость тушения кромки определяется локальными значениями упомянутых параметров [4].

В работе [5] предложена модель маршрута движения сил пожаротушения вдоль динамической кромки пожеара, учитывающая пространственную неоднородность ландшафтных условий. Данная модель позволяет осуществить оптимизацию размещения сил и средств пожаротушения с целью минимизации совокупного ущерба от пожеара, т.е. позволяет получить количественные параметры управленческих решений. Оценка эффективности данных решений не производилась.

**Постановка задачи и ее решение.** Управленческие решения, а именно, - значения параметров тактики борьбы с природной ЧС (выбор средств и приемов пожаротушения, начальная расстановка сил, задание направления их движения) определяют величину площади области ЧС (выгоревшей площади по каждому из типов насаждений и длину маршрута тушения, определяющую трудозатраты), т.е. совокупный ущерб от природной ЧС. Необходимо путем сравнения величины ущерба, получаемого на основе управленческих решений, предоставленных группой экспертов, и величины ущерба, получаемой на основании управленческих решений, в основе которых лежат модели [5-7], определить эффективность принимаемых решений.

Совокупный ущерб  $S$  от природной ЧС (ландшафтного пожеара) площадью  $S$ , на борьбу с которым задействовано  $N$  человек (личный состав ПО, работники лесхозов, местное население и др.),  $W$  единиц пожарной техники (в том числе техники, задействованной в транспортировке и локализации), складывается [8] из прямого ущерба  $C_D(t)$ , который обусловлен выгоранием участка и снижением товарной стоимости растительного сырья, подвергнутого воздействию пожеара, и косвенный ущерб  $C_I(t)$ , который связан с затратами на борьбу с ним (экологический ущерб и снижение рекреационной ценности ландшафта не рассматривается).

Данные виды ущерба, в свою очередь, могут быть выражены как

$$C_D = \sum_{i=1}^{M_m} S_{mi} c_{mi} k_{mi}, \quad (1)$$

$$C_I = \sum_{j=1}^{M_e} c_{ej} n_{ej} t_{ej} + \sum_{k=1}^{M_p} c_{pk} n_{pk} t_{pk} + \sum_{i=u}^{M_c} c_{cu} n_{cu} + \sum_{v=1}^{M_d} c_{dv}, \quad (2)$$

где:

- для каждого  $i$ -ого ( $i = 1..M_m$ ) типа насаждений:  $S_{mi}$  – площадь, пройденная огнем ( $S = \sum_{i=1}^{M_m} S_{mi}$ );  $c_{mi}$  – стоимость (с учетом степени повреждения) одной условной единицы площади;  $k_{mi}$  – коэффициент повреждения огнем [9];

- для каждой  $j$ -ой ( $j = 1..M_e$ ) категории работников:  $c_{ej}$  – оплата труда за один час работы при локализации и тушении лесного пожара;  $n_{ej}$  – количество человек, принимающих участие в тушении пожара ( $N = \sum_{j=1}^{M_e} n_{ej}$ );  $t_{ej}$  – время работы при борьбе с поджаром;

- для каждого  $k$ -ого ( $k = 1..M_p$ ) вида техники, используемой при локализации и тушении:  $c_{pk}$  – стоимость эксплуатации при тушении и локализации за один час работы;  $n_{pk}$  – количество техники ( $W = \sum_{k=1}^{M_p} n_{pk}$ );  $t_{pk}$  – время работы техники;

- для каждого  $u$ -ого ( $u = 1..M_c$ ) вида расходуемого при транспортировке, тушении и локализации средства:  $c_{cu}$  – стоимость одной условной единицы средства;  $n_{cu}$  – число условных единиц израсходованных средств;

- для каждого  $v$ -ого ( $v = 1..M_d$ ) типа техники и оборудования, вышедшего из строя при локализации и тушении:  $c_{dv}$  – стоимость ремонта или восстановления.

Согласно нормативным документам [1-2] предписывается осуществлять тактику, целью которой является минимизация времени борьбы с пожаром либо минимизация выгоревшей площади. При этом из (1)-(2) видно, что минимизация данных параметров не обеспечивает минимума совокупного ущерба от пожара,

в связи с чем в [10] предложено в основу планирования тактики борьбы с пожаром положить минимум величины  $S$ . Очевидно, что минимизация совокупного ущерба возможна лишь при наличии прогноза развития ландшафтного пожара при воздействии на него сил пожаротушения, получаемого на основании соответствующих моделей. Такие модели получены в [5-7].

Количественные значения управленческих решений являются входными параметрами данных моделей, которые на выходе определяют значение времени борьбы с пожаром, трудозатраты на его ликвидацию, площадь пожара, прямой ущерб (в т.ч. по видам насаждений), совокупный ущерб, что позволяет методом прямого поиска [11] осуществлять нахождение рациональных значений параметров тактики борьбы с пожаром в условиях ограничений на материальные и временные ресурсы. Данные рациональные решения являются приближением к оптимальным.

Для проверки эффективности управленческих решений, принимаемых на основании данных моделей, проведено сравнение величины совокупного ущерба, получаемого в результате использования оптимальной тактики борьбы с пожаром, с величинами ущерба, полученными на основании обработки вариантов борьбы с пожаром, представленными группой экспертов (в числе  $N_e = 22$ ) из числа практических работников ПО (стаж службы в пожарной охране 5-20 лет), имевших различный опыт руководства тушением ландшафтных пожаров (табл. 1).

**Таблица 1 – Опыт руководства тушением ландшафтных пожаров членами экспертной группы**

Эксперт, $i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Количество ликвидированных пожаров, $n_i$	3	12	6	8	2	1	4	7	3	5	5
Эксперт, $i$	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Количество ликвидированных пожаров, $n_i$	8	11	6	6	2	7	5	9	4	5	8

Была сформулирована следующая легенда: в условиях пересеченной местности со смешанным типом лесонасаждений (преимущественно сосна 30 лет, лиственные породы, кустарник) возник наземный ландшафтный пожар средней интенсивности, очаг которого закартографирован, площадь и периметр известны. По-

жар не переходит в верховой, но может повредить стволы деревьев. Экспертам предоставлялся полный объем информации, который может быть получен в ходе разведки: снимок местности, топографическая карта (М 1:10000), информация о наличии противопожарных рубежей, типах насаждений с их характеристиками, наличии водоисточника, скорости и направлении ветра, скорости распространения тактических элементов контура пожара, возможном проценте повреждаемого древостоя и его стоимости. Задана информация об имеющихся в наличии силах и средствах пожаротушения (один боевой расчет), времени их прибытия и развертывания. От экспертов, выступавших в качестве РТП, требовалось осуществить расстановку сил и средств пожаротушения, обеспечивающих оптимальную (по критериям, определяемыми самими экспертами) тактику борьбы с пожаром. Также от экспертов требовалось указать на необходимость запроса подкреплений, а также примерное время, необходимое для успешного завершения борьбы с пожаром.

Второй вариант заданий для экспертов повторял первый с той лишь разницей, что экспертам дополнительно предоставлялся картированный прогноз развития пожара – при безветрии, северо-западном ветре 3 м/с и 8 м/с.

Результаты, полученные при обработке данных, предоставленных экспертами, представлены в табл. 2.

Анализ данных продемонстрировал, что, по мнению ряда экспертов, некоторые из критериев эквивалентны между собой.

Все эксперты признали нецелесообразность проведения локализационных мероприятий, предпочтя им непосредственное тушение кромки пожара.

**Таблица 2 – Критерии оптимизации, которыми руководствовались эксперты**

Количество экспертов	5	4	1	3	2	1	2	1	1	2
Время тушения	+					+		+	+	+
Площадь пожара		+				+	+			
Прямой ущерб			+				+	+		
Косвенный ущерб				+					+	
Совокупный ущерб					+					+

В отсутствие прогноза динамики контура пожара девять экспертов высказались за тушение восточной кромки (поднимающейся вверх по склону с западной экспозицией) водой из автоцистерны (существует возможность подъезда по грунтовой дороге) в сочетании с захлестыванием остальной части кромки, что, по их мнению, обеспечит наискорейшую ликвидацию пожара. Остальные эксперты отказались от использования воды, распределив тушильщиков вдоль кромки очага пожара и определив прием тушения в виде захлестывания кромки. Скорость ветра, по мнению экспертов, не влияла на тактику тушения.

Иная картина имела место в случае предоставления экспертам прогноза динамики контура пожара – мнения экспертов носили большую вариабельность. При скорости ветра 8 м/с десять экспертов посчитали целесообразным тушить подветренную кромку водой, пять – запросить подкрепление.

На основании представленных данных рассчитывались значения совокупного ущерба  $C_i^{1,2,3}$  от пожара ( $22 \times 3$  вычислительных эксперимента).

Мнению экспертов приписывался вес  $p_i$ , пропорциональный количеству ландшафтных пожаров (см. табл. 1), в тушении которых он участвовал

$$p_i = n_i / \sum_{i=1}^{N_e} n_i. \quad (3)$$

Правильность присвоения оценкам экспертов весовых коэффициентов  $p_i$  подтверждает вычисленный коэффициент линейной корреляции  $r_{Sn}$  между величиной ущерба  $C$ , полученного на основании данных каждого из экспертов, и опытом экспертов (количеством потушенных им пожаров  $n$ )

$$r_{Cn} = \frac{M[(C - MC)(n - Mn)]}{\sigma_C \sigma_n}, \quad (4)$$

где  $M$  и  $\sigma$  - операторы усреднения и среднеквадратичного отклонения, соответственно.

Обработка данных корреляционной таблицы, построенной на основании экспертных заключений, по стандартной методике [12], дала значение  $r_{Cn} = 0,71$ .

Такое значение коэффициента корреляции указывает, с одной стороны, на влияние опыта РТП на эффективность тушения. С другой стороны, не очень большое его значение указывает на недостаточность влияния одного этого фактора на эффективность тушения.

Значения средневзвешенных по всем экспертам совокупных ущербов находились на основании формулы

$$\bar{C}^{1,2,3} = \sum_{i=1}^{N_e} C_i^{1,2,3} p_i . \quad (5)$$

Полученные значения сравнивались со значениями  $C_{\min}^{1,2,3}$ , соответствующим оптимальным тактикам борьбы с пожаром.

Средневзвешенные результаты отличались от оптимальных в 2.54, 3.79 и 5.61 раза.

Наилучший из предложенных экспертами вариантов по величине совокупного ущерба превышал оптимальный результат в 1.89 раза (для безветрия, вес данного результата 8/127). Наихудший результат – 7.11 (при скорости ветра 8 м/с, вес – 2/127).

Полученные данные можно рассматривать как оценки эффективности управленческих решений по борьбе с наземными ландшафтными пожарами, принимаемых на основе использования программных продуктов и моделей [5-7].

**Выводы.** Предлагаемые в [5-7] модели динамики области природной чрезвычайной ситуации на примере наземного ландшафтного пожара, развивающегося под влиянием сил пожаротушения, и оптимальные параметры тактики борьбы с пожаром, получаемые на их основе, способствуют снижению совокупного ущерба от данного вида ЧС минимум в 1.89 раза. Данные модели и программные продукты могут быть рекомендованы для использования в практической деятельности МЧС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров. – М.: Госкомлес СССР, 1976. – 110 с.
2. Подрезов Ю.В. Методологические основы прогнозирования динамики чрезвычайных лесопожарных ситуаций / Подрезов Ю.В., Шахраманьян М.А. – М.: ВНИИ ГОИС, 2001. – 266 с.

3. Кривошлыков С.Ф. Алгоритм минимизации времени локализации простого ландшафтного пожара. Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: між нар. наук.-практ. конф., 12-13 трав. 2006 р.: тези доп. – Черкаси, 2006. – С. 32-33.
4. Вонский С.М. Интенсивность огня низовых лесных пожаров и ее практическое значение. – Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1957. - 27 с.
5. Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А. Расчет параметров локализации области природного пожара// Науковий вісник будівництва. Вип. 53.– Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009. – С. 257-262
6. Абрамов Ю.О., Тарасенко О.А. Модель динаміки контуру ландшафтної пожежі з урахуванням метеорологічних даних. Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції (Черкаси, 2008). – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2008. – С. 5-7
7. Абрамов Ю.О., Тарасенко О.А. Моделі динаміки контуру ландшафтної пожежі з урахуванням топографічних даних. Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції (Черкаси, 2008). – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2008. – С. 7-10
8. Про затвердження Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру. Постанова КМ України від 15 лютого 2002 р. N 175
9. Валендик Э., Гевель Н. О полноте сгорания некоторых лесных горючих материалов. Проблемы лесной пирологии. Красноярск, 1975, с. 127-137.
10. Тарасенко А.А., Абрамов Ю.А. Формулировка задачи оптимизации параметров управленческих решений для ликвидации ландшафтного пожара // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2006. Выпуск 20. – С. 207-209 .
11. Хэмди А. Таха. Введение в исследование операций. М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 912 с.
12. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / Гмурман В.Е. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.  
nuczu.edu.ua