

*А.Я. Калиновский, к.т.н., доцент, НУГЗУ,  
И.Л. Ущативский, ГТУ МЧС Украины в Львовской обл.*

## **ОЦЕНКА УЩЕРБА, НАНОСИМОГО ПОЖАРОМ ПРИ УЧЕТЕ ВЛАЖНОСТИ И ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРА**

(представлено д-ром техн. наук Куценком Л.Н.)

Проведены оценки прямого ущерба от лесных пожаров, которые показали, что учет неоднородного и анизотропного распределения влажности и изменений параметров ветра как и просто учет значения влажности, оказывают прямое влияние на величину этого ущерба.

**Ключевые слова:** оценка ущерба, ландшафтный пожар, пространственные флуктуации ветра и влажности.

**Постановка проблемы.** Эффективность способов борьбы с лесными пожарами во многом зависит от решения, принятого руководителем тушения пожара на основе оценки оперативной обстановки. Одной из составляющей для такой оценки являются данные о самом пожаре, в частности, сведения о периметре, площади выгорания на момент начала тушения, а также о динамике его распространения. Результатом принятого решения есть определение количества сил и средств, в соответствии с разработанным планом пожаротушения, в котором должен быть учтен возможный материальный ущерб от пожара. Поэтому актуальным является вопрос о получении достоверных оценок материального ущерба, к числу которых принадлежит также оценка прямого ущерба, связанного со стоимостью выгоревшего леса к окончанию ликвидации пожара.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В работе [1] было показано, что в общем случае ущерб от лесного пожара можно оценить в условных единицах с помощью выражения

$$C = X + Y, \quad (1)$$

где  $X$  – прямой ущерб, связанный с уничтожением леса в результате выгорания, а  $Y$  – затраты подразделений аварийно-спасательной службы, связанные с локализацией и ликвидацией пожара. Первую составляющую ущерба  $X$  удобно представить в виде

$$X = C_0 S(T), \quad (2)$$

где  $C_0$  – стоимость сгоревшего леса на единицу площади, а  $S(T)$  – площадь леса, которая выгорела к окончанию ликвидации пожара. Следовательно, прямой ущерб непосредственно зависит от времени

продолжительности пожара и определяется площадью  $S(T)$ .

В работах [2 - 4] было показано, что в случае учета вариаций параметров ветра (направление, интенсивность) и влажности лесного горючего материала (ЛГМ) форма контура пожара существенно отличается от простой эллиптической, а величины периметров  $P(t)$  и площадей  $S(t)$  также зависят от условий его распространения. Поэтому прямой ущерб будет различным при разных условиях его распространения.

**Постановка задачи и ее решение.** Задачей работы является оценка влияния учета неоднородного и анизотропного распределения влажности горючего материала и изменений параметров ветра при ландшафтных пожарах на величину прямого ущерба.

Согласно [5, 6] затраты времени на тушение лесного пожара определяются длиной пути вдоль кромки пожара, который необходимо пройти при проведении работ по его тушению, а время тушения будет зависеть от скорости  $V_T$ , с которой осуществляется движение подразделений при тушении. Следовательно, для нахождения времени тушения  $T$  необходимо определить траектории движения, например, одного или нескольких пожарных подразделений вдоль возрастающей со временем кромки пожара, вычислить их длины и, зная скорость  $V_T$ , найти время  $T$ . Первые попытки решить указанную задачу предприняты в [6], а полное решение ее требует дальнейших исследований.

В связи с этим для оценки времени  $T$  в [5] предложено использовать выражение

$$T = K \frac{P(t_1)}{V_T}, \quad (3)$$

где коэффициент  $K \geq 1$  учитывает, что длина кромки (периметр)  $P(t_1)$  определяется в момент времени  $t_1$  начала тушения, в то время как в процессе тушения величина периметра продолжает увеличиваться. Случай  $K=1$  отвечает условию одновременного тушения пожара со всех сторон [5].

Нами для учета того факта, что после начала тушения пожара в момент времени  $t_1$  длина его кромки продолжает увеличиваться со скоростью тем меньшей, чем больше скорость  $V_T$ , предлагается следующая, отличная от (3), процедура оценки времени  $T$ . Известно, что периметр лесного пожара возрастает пропорционально времени как  $P(t) = \tilde{v}t$ , где  $\tilde{v}$  - скорость его увеличения. Тогда в момент времени  $t_1$  имеем  $P(t_1) = \tilde{v}t_1$ . С началом работ по тушению пожара скорость  $\tilde{v}$  уменьшается и для нее можно принять значение  $\tilde{v} - \gamma V_T$ , где коэффициент  $\gamma$  учитывает, что уменьшение  $\tilde{v}$  пропорционально  $V_T$ . Тогда длину периметра при  $t > t_1$  можно описать выражением

$$P(t) = \tilde{v}t_1 + (\tilde{v} - \gamma V_T)t, \quad (4)$$

а время тушения определить равенством

$$T = \frac{P(T)}{V_T}. \quad (5)$$

Тогда из (4) и (5) получаем выражение

$$T = \frac{\tilde{v}t_1}{(1 + \gamma)V_T - \tilde{v}}. \quad (6)$$

Отметим, что коэффициент  $\gamma$  удовлетворяет неравенствам  $\tilde{v}/V_T \geq \gamma > 0$ . При этом  $\gamma = \tilde{v}/V_T$  соответствует значению  $K=1$  в(3), а  $\gamma = 0$  - отсутствию процесса тушения пожара.

Если рассмотреть простой пожар, распространяющийся в однородных условиях, то его контур будет иметь форму эллипса [7]. Тогда согласно [7] получим, что  $\tilde{v} = \pi(a + b)$ , а множитель  $\tilde{v} - \gamma V_T$  в (4) можно представить в виде

$$\begin{aligned} \tilde{v} - \gamma V_T &= \pi(a' + b'), \\ a' &= a\left(1 - \frac{\gamma}{\pi} \frac{aV_T}{a^2 + b^2}\right), \quad b' = b\left(1 - \frac{\gamma}{\pi} \frac{bV_T}{a^2 + b^2}\right), \end{aligned} \quad (7)$$

переопределяя таким образом параметры  $a$  и  $b$  в сторону их уменьшения при  $t > t_1$ . Кроме того, в (7) учтено, что уменьшение  $a$  и  $b$  пропорционально значениям  $a$  и  $b$ , соответственно. Отметим, что величины  $a$  и  $b$  связаны с фронтальной, тыловой и фланговой скоростями распространения пожара [7].

Тогда, с учетом вышевысказанных соображений, можно принять, что после начала работ по тушению пожара его площадь будет при  $t > t_1$  возрастать по закону

$$S(t) = S(t_1) + \pi a' b' t^2, \quad (8)$$

где в случае простого пожара  $S(t_1) = \pi a b t_1^2$ . В результате для площади леса, выгоревшего к окончанию тушения, получаем выражение

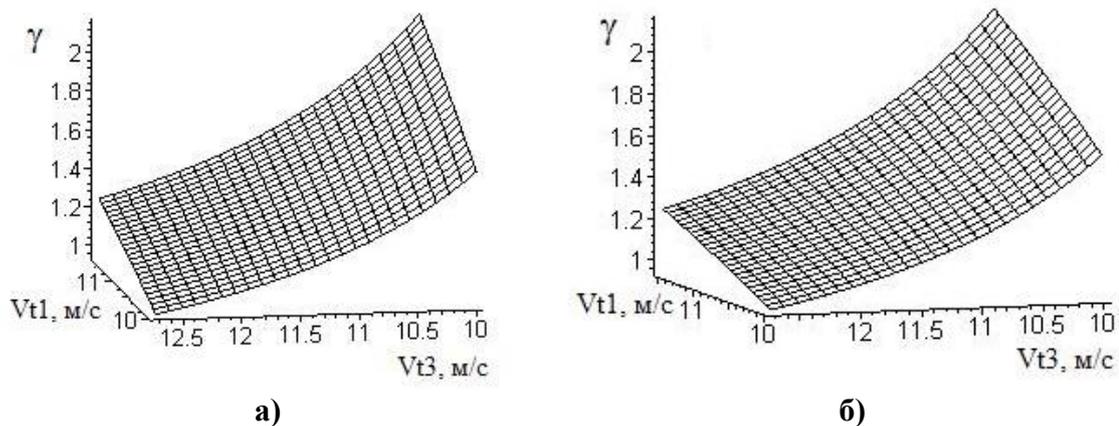
$$S(T) = \pi a b t_1^2 \left\{ 1 + \left(1 - \frac{\gamma}{\pi} \frac{aV_T}{a^2 + b^2}\right) \left(1 - \frac{\gamma}{\pi} \frac{bV_T}{a^2 + b^2}\right) \left[ \frac{\pi(a + b)}{(1 + \gamma)V_T - \pi(a + b)} \right]^2 \right\}. \quad (9)$$

Из (9) следует, что прямой ущерб, прежде всего зависит квадратично от времени  $t_1$  начала тушения и скоростей  $a$  и  $b$  его распространения, а также от скорости тушения  $V_T$  и коэффициента  $\gamma$ .

Используя (9), проведем оценки прямого ущерба для простого лесного пожара при трех значениях влажности:  $W_1=0,4$ ,  $W_2=0,3$  и  $W_3=0,5$ , которые отвечают различным сценариям развития пожара. Тогда отношение

$$e_{ij} = \frac{X_i(T_i)}{Y_j(T_j)} = \frac{S_i(T_i)}{S_j(T_j)} \quad (i, j = 1, 2, 3), \quad (10)$$

будет характеризовать изменение ущерба вследствие выбора плана ликвидации пожара при его развитии по сценарию  $j$  при действительном его развитии по сценарию  $i$ . При этом также будем учитывать, что скорости тушения  $V_{Ti}$  и  $V_{Tj}$  могут в принципе быть различными для разных сценариев.



**Рис. 1 – Зависимость величины ущерба  $e_{31}$  от скоростей тушения пожара  $V_{T1}$  и  $V_{T3}$  при  $\gamma=0,2$  (а) и  $\gamma=0,6$  (б)**

На рис. 1 в качестве примера представлен вид функции ущерба  $e_{31}$  при двух значениях параметра  $\gamma$  в зависимости от скоростей тушения  $V_{T1}$  и  $V_{T3}$  с учетом указанных выше ограничений  $V_{Ti} < \tilde{v}_i / \gamma$  при условии, что к тушению пожара приступили в момент времени  $t_1=60$  мин.

Из рис. 1 и других наших расчетов следует, что величина ущерба при тушении пожара водой одним подразделением с  $V_{T1}=V_{T3}=10$  м/мин не зависит от  $\gamma$  и составляет 1,6. Однако, при увеличении скорости  $V_{T3}$  и фиксированном значении  $V_{T1}$  (например,  $V_{T1}=10$  м/мин) значение ущерба уменьшается и может стать  $e_{31} < 1$ . В то же время при максимально возможных скоростях тушения  $V_{T1}$  и  $V_{T3}$  превышение ущерба в сценарии 3 по сравнению со сценарием 1 не может быть меньше  $\min(S_3(T_3)/S_1(T_1)) \approx 1,22$ . Полученные значения величин ущерба соответствуют увеличению влажности для сценария 3 на 25%

по сравнению со сценарием 1. Однако прямой зависимости превышения ущерба  $e_{ij}$  при повышении влажности не существует. В частности,  $\min(e_{12}) \approx 1,25$  и  $\min(e_{32}) \approx 1,52$  при повышении влажности, соответственно, на 33% и 67%.

Таким образом, анализ уже простых контуров лесных пожаров, распространяющихся по ЛГМ с разной влажностью, показывает, что учет изменения влажности при одинаковых скоростях тушения приводит к увеличению прямого ущерба. Существенно, что величина ущерба, определяемая согласно (10), не зависит от времени  $t_I$  начала тушения, что справедливо только для простых пожаров.

В случае неоднородного и анизотропного распределения влажности и изменения параметров ветра примеры расчетов величин периметров и площадей приведены в [2]. Чтобы оценить величину ущерба для таких лесных пожаров воспользуемся выражением (1) при  $K=1$  и примем за начало тушения время  $t_I=30$  мин. Тогда времена тушения для трех вариантов развития пожара, рассмотренных в [2], составляют соответственно  $T_1=21$  мин,  $T_2=24$  мин и  $T_3=12$  мин при условии одинаковой скорости тушения  $V_T=10$  м/мин. Предполагая, что площади выгорания зависят от времени в соответствии с расчетами приведенными в [2], найдем величины площадей  $S_1(t_1 + T_1) \approx 26000$  м<sup>2</sup>,  $S_2(t_1 + T_2) \approx 35200$  м<sup>2</sup> и  $S_3(t_1 + T_3) \approx 20000$  м<sup>2</sup>. В результате получаем следующие значения для величин ущерба  $e_{13}=1,30$  и  $e_{23}=1,76$ .

В этом случае, как показывают проведенные оценки, величина ущерба зависит от времени начала тушения пожара. Однако более существенным является тот факт, что при анизотропном и неоднородном распределении влажности ЛГМ, величины ущерба увеличиваются как при повышении, так и при понижении влажности относительно однородного и изотропного ее значения. Этот факт объясняется тем обстоятельством, что анизотропное распределение влажности ЛГМ в обоих случаях приводит к увеличению периметра пожара по сравнению со случаем пожара при изотропном распределении влажности.

**Выводы.** Проведенные оценки прямого ущерба от лесных пожаров показывают, что учет неоднородного и анизотропного распределения влажности и изменений параметров ветра, как и просто учет значения влажности оказывают прямое влияние на величину этого ущерба.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Говаленков С.В. Оценка принятия решения руководителем тушения лесных пожаров. / С.В. Говаленков, А.Н. Дыгало, А.А. Тарасенко // Проб. пож. без. Сб. научн. тр., Вып. 9. – Фолио, Харьков, 2001. – С. 40 – 42.

2. Калиновський А.Я. Модель поширення ландшафтної пожежі з урахуванням флуктуацій вітру і вологості пального матеріалу. / А.Я. Калиновський, О.П. Созник // Пожежна безпека. Зб. Наук. Праць. Вип. 6. – Львів: СПОЛОМ, 2005. – С. 25 – 28.

3. Калиновский А.Я. Учет изменения влажности горючего материала в экспериментально-аналитической модели распространения ландшафтного пожара. / А.Я. Калиновский, А.П. Созник // Проб. пож. без. Сб. научн. тр., вып. 18. – Фолио, Харьков, 2005. – С. 76 – 81.

4. Калиновский А.Я. Глобальная модель распространения ландшафтного пожара с учетом изменения ветра и влажности. / А.Я. Калиновский, А.П. Созник // Проб. пож. без. Сб. научн. тр., вып. 19 – Фолио, Харьков, 2006. – С. 62 – 68.

5. Абрамов Ю.А. Влияние пространственных флуктуаций пирологических параметров среды на интегральные характеристики низового лесного пожара и условия его тушения. / Абрамов Ю.А., Россоха В.Е., Тарасенко А.А. – Харьков: АГЗУ, 2004. – 142 с.

6. Калиновский А.Я. Математические модели процессов локализации простого ландшафтного пожара. / А.Я. Калиновский, С.Ф. Кривошлыков, О.А. Тарасенко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр. – Вып.17 – Харьков: Фолио, 2005. – С. 61 – 65.

7. Калиновский А.Я. Влияние формы и размеров очага загорания на контур ландшафтного пожара / А.Я. Калиновский, А.П. Созник // Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр.- Харьков: АО “Фолио”, 2004. – Спец. вып. - С. 25-34.

nuczu.edu.ua

А.Я. Калиновський, І.Л. Ущепівський

#### **Оцінка збитків від пожежі при врахуванні вологості та зміни параметрів вітру**

Проведені оцінки прямих збитків від лісових пожеж, які показали, що врахування неоднорідного та анізотропного розподілу вологості та змін параметрів вітру як і просто врахування значень вологості, спричиняють прямий вплив на розмір цих збитків.

**Ключові слова:** оцінка збитків, ландшафтна пожежа, просторові флуктуації вітру та вологості.

A.Y. Kalinovskiy, I.L. Ushapivskiy

#### **Evaluation of damage caused fire when humidity and accounting changes wind conditions**

Estimations of the detriment from forest fires are carried out in the work. The results have been shown that volume of the detriment directly depends on the changes in wind parameters and moisture of flaming material and more over it depends on their inhomogeneous and anisotropic distribution.

**Keywords:** assessment of the detriment, landscape fire, spatial fluctuations of the wind and moisture of flaming material.